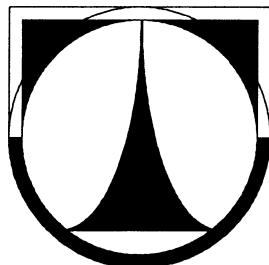


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



PRACOVISTĚ PRO GRAVIMETRICKÉ MĚŘENÍ ČÁSTIC
WORKPLACE FOR GRAVIMETRIC PARTICLE MEASURING
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

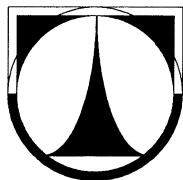
Martin Somol

Leden 2011

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Obor **B23451**

Strojírenství

Zaměření

2301R022 stroje a zařízení

dopravní stroje a zařízení

PRACOVISTĚ PRO GRAVIMETRICKÉ MĚŘENÍ ČÁSTIC
WORKPLACE FOR GRAVIMETRIC PARTICLE MEASURING

Bakalářská práce

KSD – DP – 224

Martin Somol

Vedoucí diplomové práce: **Prof.Ing. Celestýn Scholz, Ph.D., TU v Liberci, KVM**

Konzultant diplomové práce: **Ing. Josef Blažek, Ph.D., TU v Liberci, KVM**

Počet stran: 44

Počet obrázků: 25

Počet příloh: 2

Počet výkresů: 36

Leden 2011

Místo pro vložení originálního zadání DP (BP)

Pracoviště pro gravimetrické měření částic

Anotace

Cílem této práce je konstrukční návrh pracoviště pro gravimetrické měření částic – vážící komory, včetně cenové kalkulace. Obsahem práce je objasnění problematiky složení výfukových plynů, charakteristika složek spalín a jejich mechanismy vzniku. Dále je v práci pojednáno o laboratorním měření pevných částic vznětových motorů. V příloze je výtah z normy, a to: EU norma (Úřední věstník Evropské unie L 103/1/2008, Předpis č. 49 Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN)).

Klíčová slova: Gravimetrické měření, vážící komora, emise, spaliny, škodliviny, saze, pevné částice, opacimetrie, kouřivost, odběrné filtry,

Workplace for gravimetric particle measuring

Annotation

The objective of this thesis is to present the design of workplace for gravimetric measuring – weighing chamber with its pricing included. The purport of this thesis is to clarify the questions of exhaust fumes composition, characteristics of burnt gas and the mechanism of its origin. Further parts disert on laboratory measurements of solid particles (Diesel engines). The supplement (attachment) shows abstract of the European Standard, namely: EU Standard (EU Official report L 103/1/2008, ECE UN Regulation No. 49).

Key words: Gravimetric measurement, weighing chamber, air pollution, burnt gas pollutants, carbon particles, solid particles, opacimetry, smoke emission, particle filters.

Desetinné třídění:	224
Zpracovatel:	TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů
Dokončeno :	2011
Archivní označení zprávy:	

Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V dne

.....

podpis

Poděkování

Tímto chci poděkovat panu ing. J. Blažkovi Ph.D., mému konzultantovi a panu prof.ing. C. Scholzovi Ph.D., vedoucímu bakalářské práce a vedoucímu katedry, kteří mi byli nápomocni s vypracováním této práce. Samozřejmě jim chci poděkovat za čas, který se mnou strávili a také za všechny věcné připomínky a odborné rady, které byly důležité pro dokončení mé bakalářské práce.

Také bych chtěl poděkovat všem, kteří mi pomohli v průběhu celého studia.

Seznam symbolů a jednotek

λ	součinitel přebytku vzduchu	[1]
B_n	stupeň zčernání	[°BOSCH]
k	absorpční koeficient	[v.m ⁻¹]
L	délka optické dráhy	[m]
N	údaj opacimetru	[HSU]
$M_{1,2}$	hmotnost	[kg]
V_{vzor}	objem	[m ³]
$C_{M,PE}$	hmotnostní koncentrace	[kg.m ⁻³]
M_j	celková produkce j-té složky	[kg.kmol ⁻¹]
ρ	hustota	[kg.m ⁻³]
C_j	koncentrace j-té složky	[ppm/%]
Q_{exh}	průtok spalin	[kg.s ⁻¹]
$C_{M,C}$	koncentrace uhlíku vázaného v pevných částicích spalin	[mg.m ⁻³]
M_{PM}	hmotnost částic	[g.zkouška ⁻¹]
m_f	hmotnost částic odebraných za celý cyklus	[mg]
m_{sep}	hmotnost zředěných výfukových plynů, které prošly odběrnými filtry částic	[kg]
m_{ed}	hmotnost zředěných výfukových plynů za celý cyklus	[kg]
m_{set}	hmotnost dvojité zředěných výfukových plynů, které prošly filtrem částic	[kg]
m_{ssd}	hmotnost sekundárního ředicího vzduchu	[kg]
m_{sd}	hmotnost ředicího vzduchu odebraného systémem odběru vzorků částic	[kg]
m_b	hmotnost částic pozadí shromážděných z ředicího vzduchu	[mg]
D	faktor ředění	[1]
I_p	intenzita výměny vzduchu	[h ⁻¹]
V_p	průtok vzduchu	[m ³ .h ⁻¹]
O	objem místnosti (komory)	[m ³]

Obsah

1	ÚVOD.....	9
2	SLOŽENÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ	10
2.1	PEVNÉ ČÁSTICE VZNĚTOVÝCH MOTORŮ	12
2.2	VZNĚTOVÉ (NAFTOVÉ) MOTORY	16
2.3	DODATEČNÁ ÚPRAVA SPALIN.....	18
3	LABORATORNÍ MĚŘENÍ EMISE ČÁSTIC ZE VZNĚTOVÝCH MOTORŮ.....	20
3.1	MĚŘENÍ KOUŘIVOSTI FILTRAČNÍ METODOU.....	21
3.2	OPACIMETRIE.....	22
3.3	PŘÍMÉ HMOTNOSTNÍ MĚŘENÍ KONCENTRACE ČÁSTIC.....	24
3.4	KVALITATIVNÍ MĚŘENÍ ČÁSTIC	30
4	PRACOVNÍSTĚ PRO GRAVIMETRICKÉ MĚŘENÍ ČÁSTIC	31
4.1	PRVOTNÍ STAV ŘEŠENÍ.....	31
4.1.1	KLIMATIZOVANÝ BOX.....	31
4.1.2	ZKUŠEBNÍ KOMORA	34
4.2	VLASTNÍ NÁVRH KOMORY	35
4.2.1	KONSTRUKCE VÁŽÍCÍ KOMORY.....	37
4.2.2	POSTUP MONTÁŽE.....	38
5	CENOVÁ KALKULACE	41
5.1	KALKULACE SAMOTNÉ SKŘÍNĚ	41
5.2	KALKULACE VENTILACE	42
5.3	KALKULACE OSTATNÍHO ZAŘÍZENÍ	42
6	ZÁVĚR	43
	Seznam použité literatury	44

1 ÚVOD

Používání automobilů přináší mnoho výhod pro pohodlnější a komfortnější život člověka, ale má to i své negativní stránky. Jednou z nejzávažnějších je znečišťování životního prostředí produkty spalování benzinových i vznětových motorů. Automobilové motory produkují velké množství oxidu uhelnatého, oxidů dusíku, uhlovodíků a řadu toxických organických látek vázaných na pevné částice. Všechny tyto produkty výfukových plynů mají nežádoucí efekt na životní prostředí a lidský organismus. V současné době je zřejmé, že nárůst motorových vozidel má za následek globální atmosférické změny. Tyto změny mohou vést k celkovému ovlivnění klimatu na Zemi. Splnění limitu množství škodlivin je součástí schvalovacího řízení před uvedením zařízení do provozu a v průběhu jeho provozování. Dá se říci, že samotná emise škodlivin je důležitým parametrem motoru a je také dobrým ukazatelem kvality spalovacího procesu.

Značným přínosem naftových motorů je jejich nízká spotřeba. U moderních turbodieselů je to navíc poměrně vysoký výkon a točivý moment, který staví naftové motory s turbodmychadly na úroveň klasických benzinových motorů.

Nevýhodou naftových motorů je poměrně vysoký obsah karcinogenních mikročástic ve výfukových plynech, které zamořují prostředí a mohou způsobit závažná onemocnění včetně rakoviny. Tomuto problému se nevyhnuly ani moderní turbodiesely s přímým vstřikováním, pouze částečně napomáhají tento problém řešit motory s vysokotlakým vstřikováním paliva (common rail, čerpadlo-tryska). Ani použití katalyzátorů nemá na koncentraci pevných částic vliv.

V této práci je stručné pojednání o složení výfukových plynů, vybraných složek spalín z hlediska jejich působení na lidský organismus a na životní prostředí. Jsou zde také zmíněny základní metody zjišťování obsahu pevných částic ve spalínách výfukových plynů spalovacích motorů. Jednou z metod je již zmíněná gravimetrická metoda, která vyžaduje různá zařízení, mezi které patří právě vážící komora.

Další část této práce je zaměřena na samotný návrh vážící komory. Návrh je podrobně rozpracován včetně výrobních výkresů, výkresů sestav, kusovníků a veškerých potřebných zařízení. Celá práce je zakončena cenovou kalkulací.

Hlavním cílem práce je návrh pracoviště pro gravimetrické měření pevných částic, které slouží ke stabilizaci a vážení filtračních papírků.

2 SLOŽENÍ VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

legislativně přímo omezené škodliviny	plynné a aerosolové	<i>oxid uhelnatý (CO) uhlovodíky (HC) oxidy dusíku (NO_x) kouřivost a částice (jen u naftových motorů)</i>
legislativně nepřímo omezené škodliviny	cestou limitů složení paliva	<i>oxid siřičitý některé uhlovodíky</i>
legislativními limity dosud neomezené škodliviny	vyvolávající zápach	<i>přes 1000 sloučenin včetně aldehydů</i>
	iritující zrak	<i>zejména aldehydy</i>
	karcinogenní a mutagenní	<i>zejména polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs , PAU)</i>
legislativou metodicky nepodchycené pracovní režimy motoru se zvýšenými emisemi	přechodné neustálené stavy zatížení motoru	<i>CO , HC , NO_x kouřivost , částice</i>
	přechodné období nízké provozní teploty okolí	<i>HC , bílý kouř , částice , aldehydy , zápach</i>


Tab. 1 Souhrnný přehled hlavních druhů emisí ve výfukových plynech automobilového motoru a způsoby jejich legislativního omezení (Vývoj složení emisí automobilové dopravy Kohoutek J., Holoubek I Brno)

Při spalování uhlovodíkového paliva se vzduchem vzniká dokonalou oxidací uhlíku a vodíku obsaženého v palivu oxid uhličitý CO₂ a voda H₂O . Při nedokonalé oxidaci těchto prvků jsou ve spalínách přítomny oxid uhelnatý CO a vodík H₂ . Při

použití vzduchu, jako okysličovadla, je vždy nejvýznamnější složkou dusík N_2 . Kyslík O_2 se objevuje ve výfukových plynech, když se celé jeho množství nepoužije k oxidaci paliva, protože byl v čerstvé směsi v přebytku, anebo se nevyužil z jiných důvodů. Za vysokých teplot ve spalovacím prostoru vznikají oxidy dusíku NO_x , složené zejména z oxidu dusnatého NO a množství oxidu dusičitého NO_2 . Při velmi nepříznivých globálních, či lokálních podmínkách pro oxidaci paliva obsahují výfukové plyny nespálené uhlovodíky HC různého složení.

Při nedostatku vzduchu nastává při vysoké teplotě dekompozice molekul uhlovodíků, jejímž výsledkem je přítomnost **pevného uhlíku (sazí)** ve spalínách. S výfukovými plyny odchází z motoru také jisté, i když velmi malé množství dalších částic, jako jsou vysokomolekulové produkty tepelné degradace např.: mazacího oleje, prachu, popele, částičky rzi atd. Ve spalínách se objevují oxidy síry, které se vytvářejí při spalování v motoru, ze síry obsažené v některých uhlovodíkových palivech. Sloučeniny olova Pb jsou přítomny ve výfukových plynech motoru spalujících benzín s antidetonační přísadou obsahující olovo.

Emisní norma EURO 5



Rok/norma		CO (g/km)		NO _x (g/km)		HC + NO _x (g/km)		HC (g/km)	PČ (g/km)
1992	I	3,16	3,16	-	-	1,13	1,13	-	0,18
1996	II	2,20	1,00	-	-	0,50	0,70*	-	0,08**
2000	III	2,30	0,64	0,15	0,50	-	0,56	0,20	0,05
2005	IV	1,00	0,50	0,08	0,25	-	0,30	0,10	0,025
2009	V	1,00	0,50	0,06	0,18	-	0,23	0,10	0,005
2014	VI	1,00	0,50	0,06	0,08	-	0,17	0,10	0,005

BENZÍNOVÉ MOTORY, NAFTOVÉ MOTORY
 * 0,90 pro motory s přímým vstřikováním paliva
 ** 0,10 pro motory s přímým vstřikováním paliva

Obr. 1 Emisní norma EURO 5 (www.autolexikon.net)

Současná legislativa omezuje ve výfukových plynech pístových spalovacích motorů emise dusíku NO_x , nespálených uhlovodíků HC a oxidu uhelnatého CO u zážehových i vznětových motorů, saze a částice pouze u vznětových motorů. Produkce oxidů síry a sloučenin olova je sledována nepřímo limitováním obsahu síry, resp. olova v palivu. Základní vybavení pro měření plynných emisí se skládá z přístrojů pro určení obsahu CO, NO_x a HC ve spalínách. Pro stanovení emisních parametrů vznětového motoru se požaduje ještě měření kouřivosti motoru anebo koncentrace částic ve spalínách.

V současné době je v platnosti emisní norma EURO 5. Do budoucna se zpracovává nová norma EURO 6, která má ještě více omezit pevné částice ve vznětových motorech. Počítá se také s omezováním částic i u zážehových motorů, kde se uvažují různé způsoby technických provedení, pravděpodobně obdobné filtry či jiná zařízení.

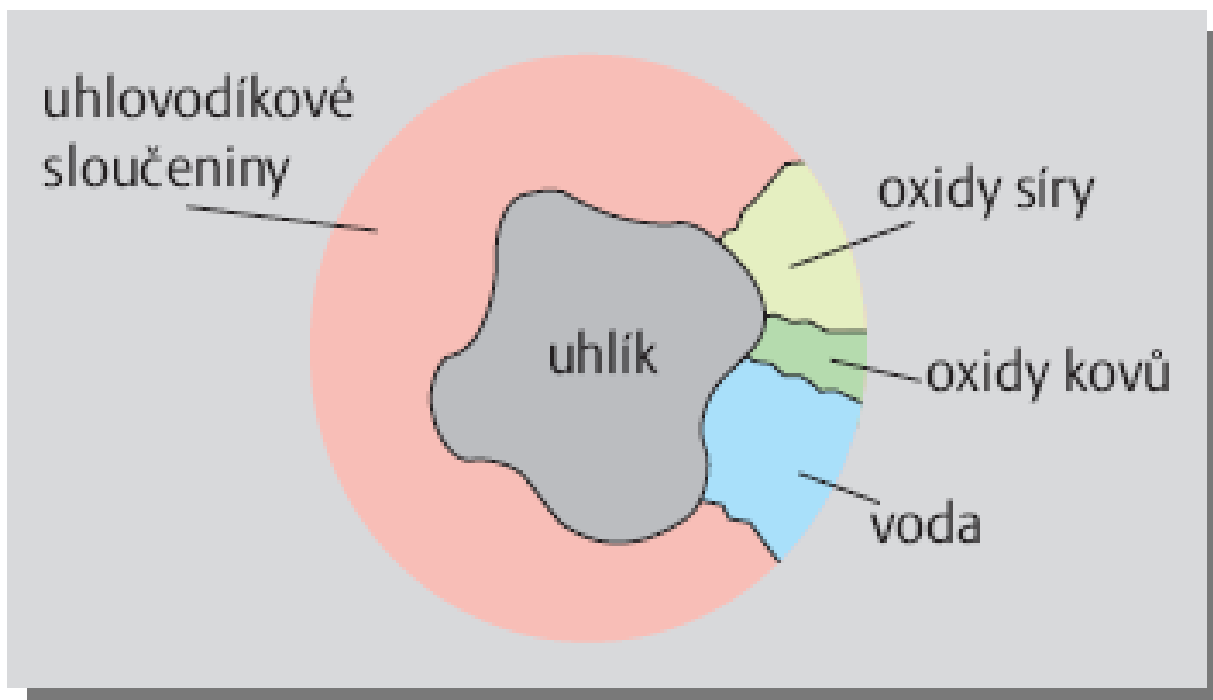
2.1 PEVNÉ ČÁSTICE VZNĚTOVÝCH MOTORŮ

Částice emitované vznětovými motory obsahují zejména pevný uhlík ve formě sazí, proto se také tato skupina škodlivin nazývá **pevné částice**. Saze, vznikající jako produkt nedokonalého spalování bohatých směsí. Saze jsou částice velikosti 0.3 – 100 μm . Další skupinou jsou těžké uhlovodíky kondenzované nebo adsorbované na saze a sulfáty. Těžké uhlovodíky kondenzované nebo neadsorbované na saze se zpravidla označují jako rozpustná organická frakce a pocházejí zčásti z mazacích olejů, zčásti z nespáleného paliva a zčásti ze sloučenin vznikajících během spalování. U starších dieselových motorů představovaly saze 40 až 80 % z celkového množství pevných částic a ve výfukových plynech se nacházely v koncentracích kolem $1.1\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, resp. 17kg na 1 t spotřebovaného paliva.

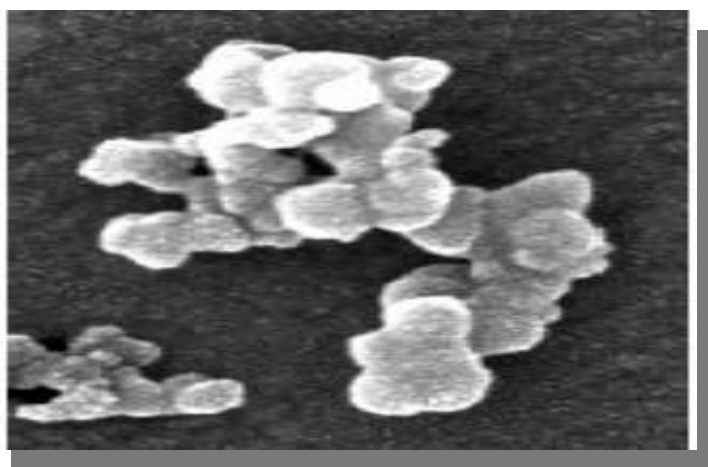
Částice jako samotná látka není toxická. Na pevných částicích jsou ovšem sorbovány látky s vysokou zdravotní závadností (např. zmíněné polycyklické aromáty). S každou částicí uhlíku (sazí) o velikosti přibližně 0,05 mikrometrů jsou spojeny různé uhlovodíky, voda a sulfidy pocházející především z paliva a zbytků

oleje. Kromě toho je zde přítomno i malé množství oxidů kovů vznikajících oděrem, k němuž dochází uvnitř motoru.

Co se týče vlivů na zdraví, byly pevné částice ze vznětových motorů označeny za pravděpodobné karcinogeny. Kontaminované částice se mohou usazovat v plicních sklípcích organismů a umožňovat tak dlouhodobé působení karcinogenů. Funkce nosiče rakvinotvorných látek je hlavním důvodem k výrazně negativnímu hygienickému hodnocení emitovaných částic.



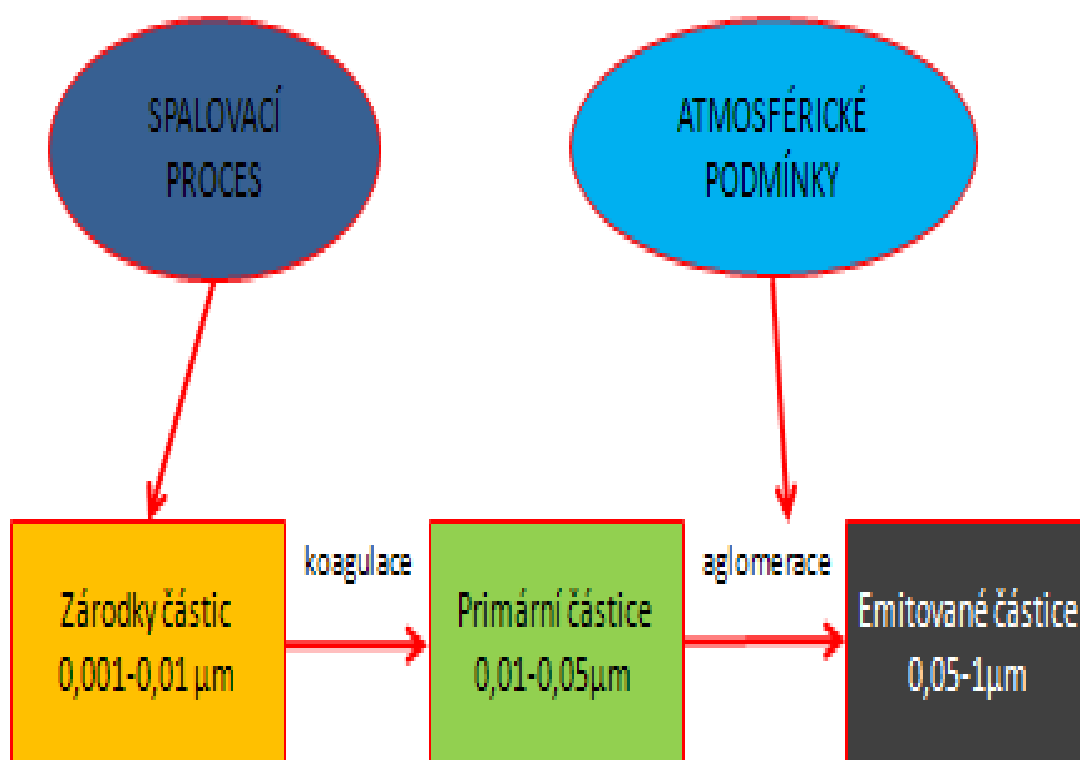
Obr. 2 Schematické znázornění pevné částice (Udržitelný rozvoj (ŠKODA AUTO a.s. 2006))



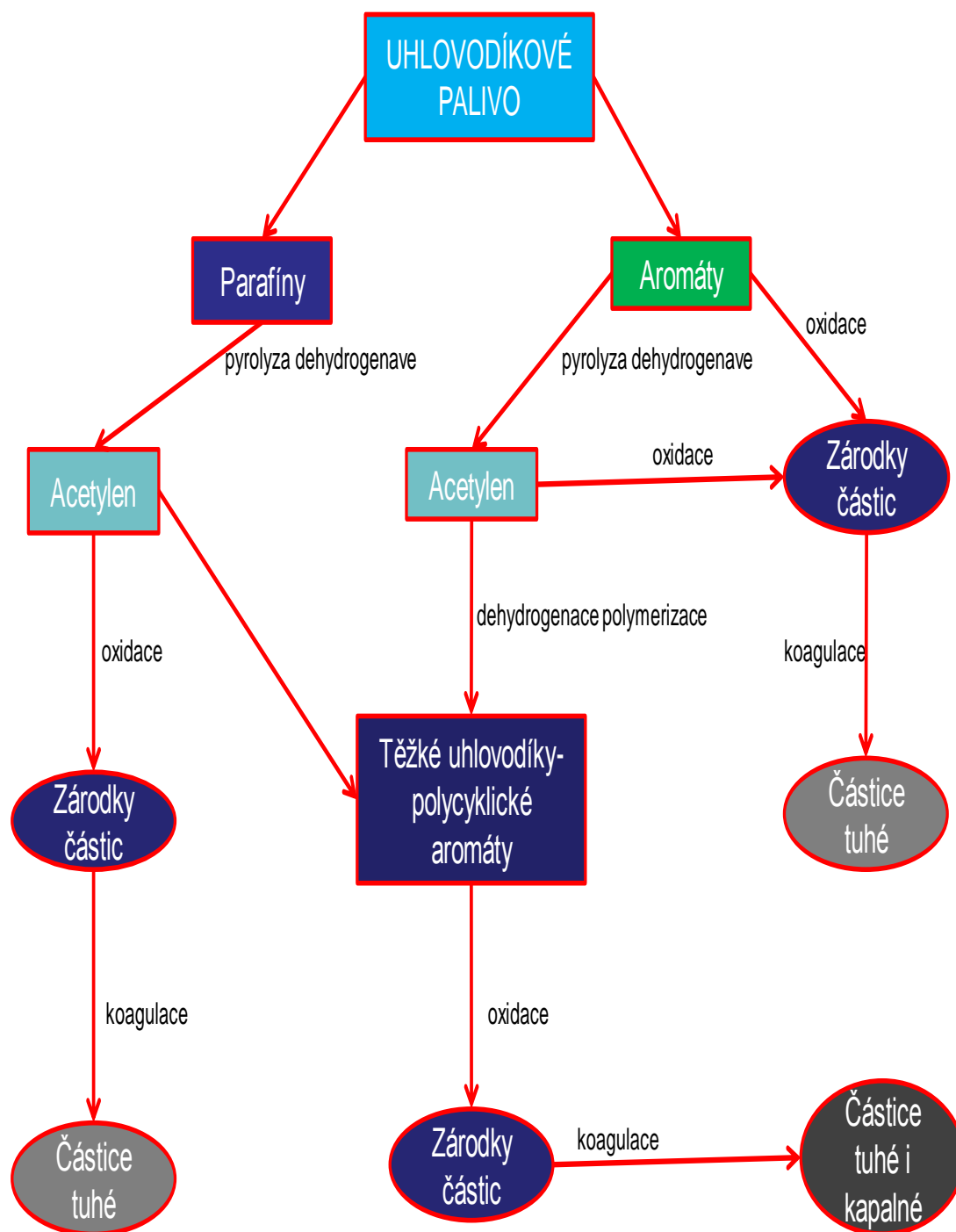
Obr. 3 Typická pevná částice vznikající při spalování ve vznětovém motoru [zdroj odkud je čerpáno (Udržitelný rozvoj (ŠKODA AUTO a.s. 2006))

Částice jsou též hlavní příčinou výskytu zimního smogu, typického pro stav teplotní inverze. Částice emitované automobilovými motory mohou snížením viditelnosti v exponovaných dopravních situacích (při předjíždění kouřícího vozidla) vytvářet předpoklady ke vzniku dopravních nehod.

Přes úspěšnou redukci tvorby částic, dosaženou díky přijatým konstrukčním opatřením, je nejúčinnějším způsobem odstranění pevných částic nasazení filtračních systémů konstruovaných speciálně pro vznětové motory, takzvaných filtrů pevných částic



Obr. 4 Schéma mechanismu tvoření pevných částic ve výfukových plynech (Kvantitativní a kvalitativní hodnocení pevných částic výfukových plynů pístových spalovacích motorů (Pracovní materiály poskytnuté katedrou strojů průmyslové dopravy TU Liberec))



Obr. 5 Schéma základních pochodů při spalování uhlovodíkového paliva s ohledem na mechanismus tvoření částic (acetylenová cesta) (Kvantitativní a kvalitativní hodnocení pevných částic výfukových plynů pístových spalovacích motorů (Pracovní materiály poskytnuté katedrou strojů průmyslové dopravy TU Liberec))

2.2 VZNĚTOVÉ (NAFTOVÉ) MOTORY

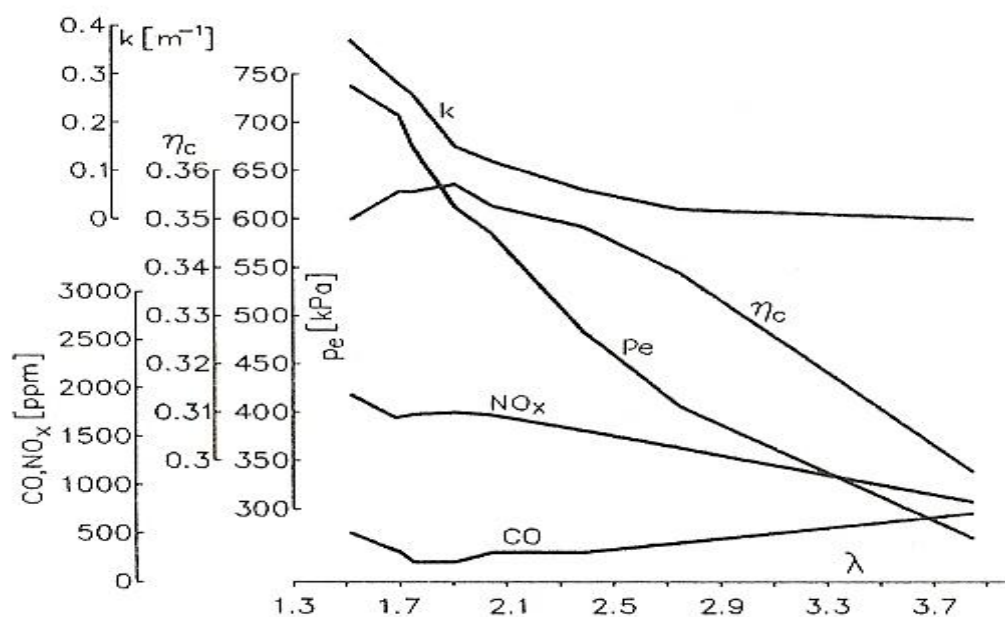
Závislost vlastností vznětového motoru (s atmosférickým plněním) na složení směsi se uvádí na obr. 6.

Vznětový motor je regulován kvalitativně, proto závislost parametrů na složení směsi je zvláštním případem prezentace zatěžovací charakteristiky. Nejvyšší hodnota λ na obr. 6 je dána nejnižším zatížením motoru, to znamená nejnižší hodnotou p_e . Při běhu naprázdno pracuje vznětový motor se součinitelem přebytku vzduchu $\lambda = \text{cca } 10$.

Emise pevného uhlíku (sazí) je na obr. 6 charakterizována hodnotou absorpčního součinitele, jeho význam je objasněn v odstavci 3.2 opacimetrie. Emise sazí se výrazně zvyšuje se snižováním přebytku vzduchu.

Na průběhu koncentrace NO_x je možno pozorovat vliv působení reakčně – kinetického mechanismu (zpomalování tvorby NO s rostoucím součinitelem přebytku vzduchu

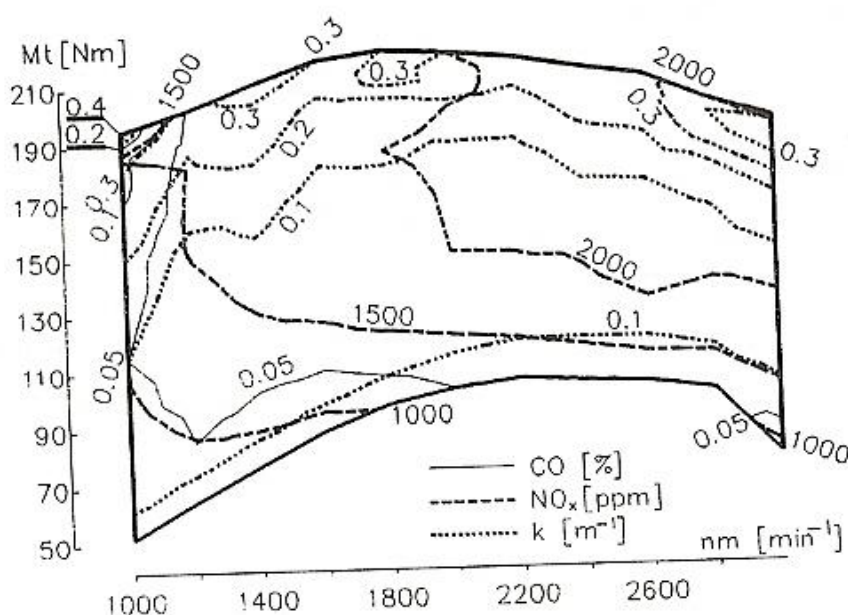
Oproti benzinovému motoru jsou nejvyšší hodnoty koncentrace CO výrazně nižší, to však lze očekávat vzhledem k vyšším hodnotám součinitele přebytku vzduchu. Markantní je vliv reakčně – kinetického mechanismu (zvyšování emise CO s rostoucím přebytkem vzduchu = současně pokles zatížení => pokles teploty => nižší reakční rychlost).



Obr. 6 Základní vlastnosti vznětového motoru (Měření emisí spalovacích motorů (Takáts. M, Vydavatelství ČVUT, Praha 1997))

Nehomogenita směsi uvnitř spalovacího prostoru se projevuje v oblasti nejnižších uvedených hodnot součinitele přebytku vzduchu a jako předzvěst strmého nárůstu produkce částic stoupá koncentrace CO.

Zajištění trvale vysoké hodnoty součinitele přebytku vzduchu je univerzálním prostředkem ke snižování koncentrace škodlivin v surových výfukových plynech vznětového motoru. Při současném požadavku na dosažení vysoké hodnoty středního efektivního tlaku se jeví jako výhodné použití přeplňování a chlazení plnicího vzduchu.



Obr. 7 Úplná charakteristika vznětového motoru (Měření emisí spalovacích motorů (Takáts. M, Vydavatelství ČVUT, Praha 1997))

Návrhem tvaru spalovacího prostoru, charakterem a intenzitou pohybu náplně lze v širokých mezích ovládat energetické i emisní vlastnosti motoru a navíc oproti benzinovému motoru také počtem, velikostí a nasměrováním výstřikových otvorů vstřikovací trysky, velikostí vstřikovacího tlaku a jeho průběhu po dobu vstřikovacího procesu. Na obr. 7 se uvádí vývoj emisních parametrů v úplné charakteristice vznětového motoru. Jedná se o motor s atmosférickým plněním.

2.3 DODATEČNÁ ÚPRAVA SPALIN

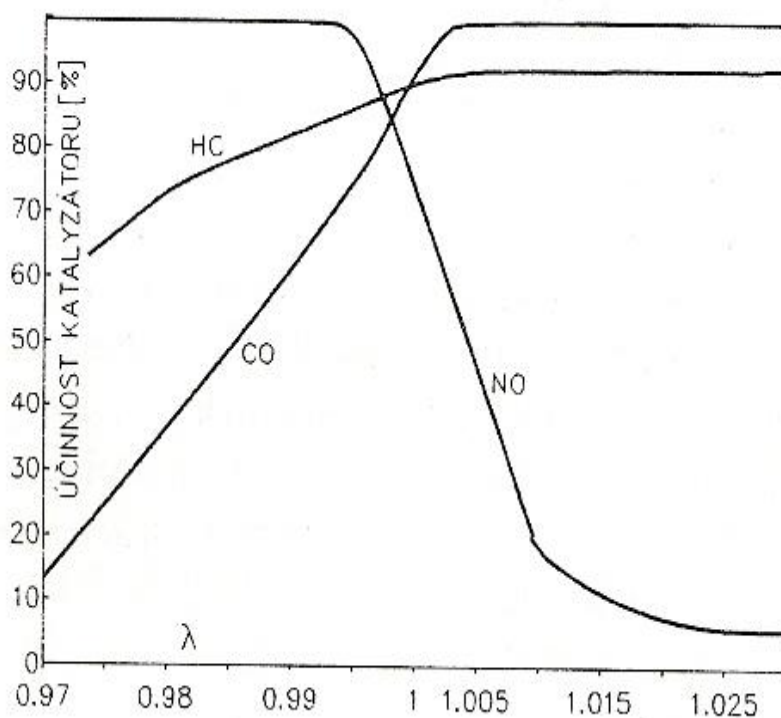
Dosavadní úvahy o emisních vlastnostech motorů se týkaly výhradně složení surových spalin tj. ve stavu jak jsou vytlačovány z válce motoru do výfukového traktu v průběhu výfukového taktu. V zájmu minimalizace negativních účinků na okolí se u moderních spalovacích motorů výfukové plyny dodatečně upravují. Klíčovou okolností z hlediska výsledných emisních parametrů u konvenčních motorů je dodatečná úprava spalin v katalytickém reaktoru.

Technická účinnost tzv. *třícestného katalyzátoru* (TWC = Three Way Catalyst – název je odvozen ze skutečnosti , že katalyzátor tohoto typu je účinný v oblasti dodatečné likvidace všech tří hlavních skupin škodlivin , tzn. CO , NO_x a HC) je strmě závislá na směšovacím poměru jak je naznačeno na obr.8 . To je dáno tím , že ve spalinách z hoření bohaté směsi není přítomen kyslík pro dodatečnou oxidaci a naopak dodatečná likvidace NO probíhá reakcí s produkty nedokonalé oxidace (H₂ , CO) .

Moderní zážehové motory pracují se zpětnovazební regulací směšovacího poměru podle signálu λ -sondy , která vyhodnocuje průběžně okamžitou koncentraci kyslíku ve výfukových plynech. Synonymem názvu třícestný katalyzátor je *řízený katalyzátor*, i když samotný katalyzátor nemá vestavěn žádný řídicí prvek, stejně jako nemá tři cesty. Správný název zařízení pro dodatečnou úpravu spalin je tedy řízený katalytický systém. Katalytický reaktor ovlivní příznivě složení spalin při jakémkoli směšovacím poměru, avšak jeho účinnost při odlišném složení směsi než $\lambda = 1$ je pro některou skupinu škodlivin horší.

Technickou účinností katalyzátoru se rozumí podíl zlikvidovaného množství škodliviny z jejího množství v surových spalinách. Z hlediska chemické termodynamiky a reakční kinetiky se účinnost katalyzátoru hodnotí jako podíl z nejlepšího možného výsledku, tj. posuzuje se, nakolik se složení spalin za katalyzátorem blíží rovnovážnému stavu pro teplotu spalin v katalytickém reaktoru.

Z hlediska problematiky měření emisí spalovacích motorů vznikají zavedením třícestných katalyzátorů problémové okruhy pro uplatnění měřících metod a aparatur. U (plynových) motorů s chudou koncepcí se používají oxidační katalyzátory jednak pro další snižování koncentrace CO a jednak pro snižování koncentrace nespálených uhlovodíků.



Obr. 8 Technická účinnost katalyzátoru (Měření emisí spalovacích motorů (Takáts. M, Vydavatelství ČVUT, Praha 1997))

U velkých stacionárních motorů (s výkonem řádu MW) se někdy používá dodatečná úprava spalin s řízeným přívodem vstupní látky reakce, jejíž výsledkem je neutralizace příslušné škodliviny. Aby se akcentovala cílenost této operace, používá se pro její použití název *selektivní katalytická redukce*. Součástí řídicího systému, je analyzátor pro měření koncentrace relevantní složky v surových spalínách. Pro jednoznačnost se při nasazení na stacionárních motorech zavádí pro použití třícestného katalyzátoru již třetí pojmenování *neselektivní katalytická redukce*.

Pro dodatečnou likvidaci zápachu výfukových plynů u vznětových motorů se sporadicky používají oxidační katalyzátory. Uspokojivé řešení katalytického dohořívání pevného uhlíku ve výfukovém reaktoru v současnosti není z komerčních důvodů dostupné. Z tohoto důvodu se používají zachycovače částic, nazývaný též zachycovač, či filtr sazí. Toto zařízení pracuje v cyklickém módu, v němž se střídá režim zachycování částic s režimem regenerace zachycovače. Tomu je nutné přizpůsobit zejména postupy používané při analýze spalin v rámci výkonu zkušebnictví a při provozních kontrolách emisních vlastností spalovacích motorů, aby se podchytily emisní vlastnosti v jednotlivých fázích činnosti zachycovače.

3 LABORATORNÍ MĚŘENÍ EMISE ČÁSTIC ZE VZNĚTOVÝCH MOTORŮ

Kouření (z dalšího textu tohoto odstavce vyplýne, že všechny formulace jsou vyhrazeny specializovaným odvětvím této problematiky) vznětového motoru, na rozdíl od plyných škodlivin, je pozorovatelné i bez měřících přístrojů. Proto se stalo předmětem všeobecného zájmu jako první ze skupin jevů, kterými spalovací motor působí negativně na okolí.

První metoda na zjišťování kouřivosti motoru je založena na zachycení částic kouře na filtračním papírku, přes který se prosaje vzorek výfukových plynů definovaného objemu definovanou rychlostí. Množství zachycených částic se vyhodnocuje opticky podle míry zčernání filtru měřitelného jako množství světla pohlceného kontaminovaným filtrem ve srovnání s pohlcením světla nepoužitým filtrem. Tato měřená veličina se nazývá kouřivost stanovená filtrační metodou. Filtrační metoda je dvoufázová – v definovaném režimu běhu motoru se uskuteční odběr vzorku, který se dodatečně vyhodnotí v optickém vyhodnocovacím zařízení. Sestava odběrného a vyhodnocovacího zařízení se nazývá *kouřoměr*.

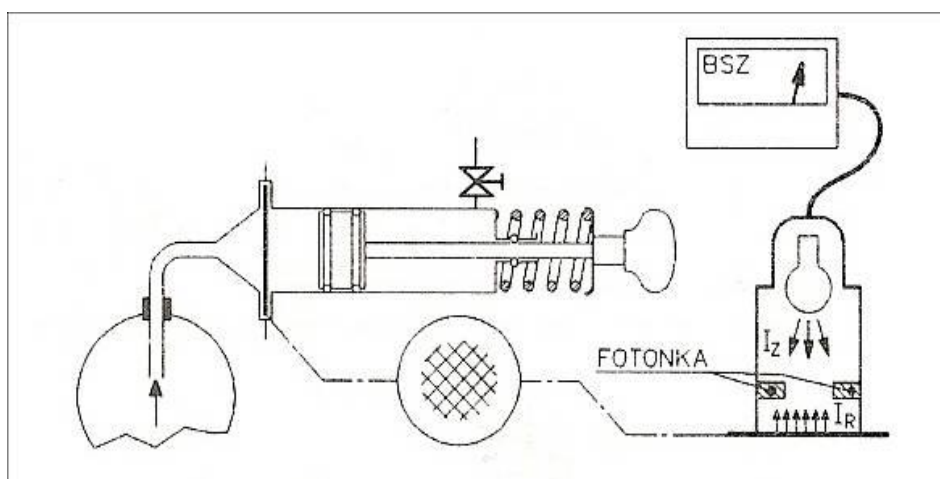
Jednoetapové je přímé zjišťování pohltivosti světla sloupcem výfukových plynů definované délky (tj. definovaná je optická dráha). Měřená veličina se nazývá *opacita* (pohltivost světla) spalin a příslušný měřicí přístroj je *opacimetr*. Pro tuto veličinu se také používá označení *emise viditelného kouře*. Společnou nevýhodou měření kouřivosti filtrační metodou a opacimetrie je nemožnost vztažení naměřených hodnot k výkonovým vlastnostem motoru, tedy absence analogie k vyjádření měrné produkce škodlivin.

Pro umožnění způsobu hodnocení pro oblast emise pevných částic se upravila filtrační metoda zavedením vyhodnocování zachyceného množství částic jako rozdílu hmotnosti kontaminovaného a čistého filtru. Usazeniny na filtru sestávají kromě sazí ještě z dalších látek v pevném, případně kapalném skupenství. Proto se výsledek měření popsanou metodikou nazývá *emise částic* (PE Particulates Emission). V období tvorby této metody, jako pokus o další roztřídění částic podle složení, se zavedla specifikace částic na *rozpustné* a *nerozpustné*. Toto rozlišení se prakticky provede vystavením úsady působení konvenčního organického rozpouštědla (dichlormetan, izopropylalkohol). V tomto smyslu se pak používalo označení emise

rozpustných (nerozpustných) částic. V novějších publikacích se toto rozdělování neobjevuje, zřejmě z důvodu malého faktického významu tohoto typu třídění.

3.1 MĚŘENÍ KOUŘIVOSTI FILTRAČNÍ METODOU

Na obr. 9 je schéma sestavy zařízení pro měření kouřivosti filtrační metodou s ruční sondou. Před odběrem vzorku se ručně posune píst sondy zcela doleva a zajistí. Čistý papírek se umístí do příslušné štěrbině a nátrubek sondy se zavede do výfukového potrubí. Po odblokování pístnice vykoná stlačená pružina sací zdvih. Rychlost pohybu pístu je přitom nastavena seškrcením odtoku vzduchu z prostoru za zadní stranou pístu.



Obr. 9 Filtrační kouřoměr BOSCH (Měření emisí spalovacích motorů (Takáts. M, Vydavatelství ČVUT, Praha 1997))

Kontaminovaný papírek se vyhodnotí reflektivním fotometrem, který je citlivý na množství světla odražené od plochy papírku v místě povlečeném vrstvou zachycených sazí. Výsledkem je *stupeň zčernání* nebo SZ (Schwarzungszahl, někdy též BSZ = Bosch Schwarzungszahl, či Bn = Bosch Number) v jednotkách °BOSCH

$$Bn = 10 \left(1 - \frac{I_z}{I_R} \right) \quad (1)$$

I_z , I_r ... dopadající a odražené záření (viz obr.9).

V modernějším provedení pracuje ruční kouřoměr s kontinuálním pásem papíru namísto jednotlivých kroužků. Vrcholem automatizace této metody je pseudokontinuální kouřoměr s pásem papíru, vestavěnou pumpou a přívodní hadicí trvale připojenou k výfukovému traktu. Na povel obsluhy se solenoidovým ventilem otevře přívod vzorku a po prosátí příslušného objemu se kontaminovaná plocha papíru posune k fotoelektrickému vyhodnocení.

Z kouřivosti stanovené filtrační metodou lze také v nouzi vypočítat koncentraci pevných částic. Jako příklad se pro tento odhad uvádí výpočetní vztah:

$$C_{M,C} = 581.4 \left[\left(\frac{10}{10 - B_n} \right) \right]^{1.413} \quad (2)$$

$C_{M,C}$ koncentrace uhlíku vázaného v pevných částicích v mg.m^{-3} spalin.

B_n stupeň zčernání stanovený filtrační metodou přístrojem BOSCH.

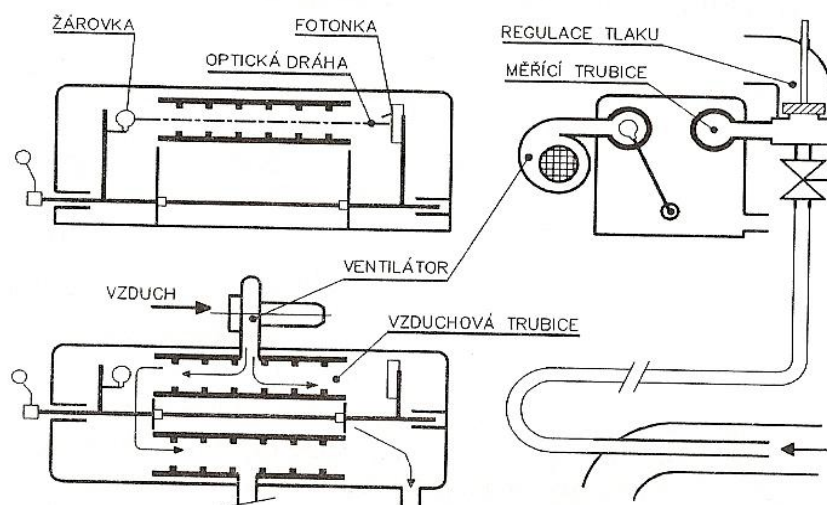
Pseudokontinuální filtrační kouřoměry bývají vybaveny procesorem s naprogramovaným přepočtem naměřené kouřivosti na údaj koncentrace částic. Příslušná číslicová zobrazovací jednotka pak zobrazuje takto přepočítanou hodnotu. Nutno ovšem vědět, že se jednoznačně jedná o náhradní způsob vyhodnocení

3.2 OPACIMETRIE

Zvláštní problém nepředstavuje samotné prosvícení sloupce spalin viditelným světlem a zjištění prošlého podílu záření. Je však nutné se vypořádat s nebezpečím pokrytí povrchu zdroje a čidla povlakem částic, jehož opacita by zkreslila údaj přístroje. Schéma usprádnění přístroje HARTRIDGE je uvedeno na obr. 10, který je v laboratorní třídě opacimetrů nepsaným standardem.

Za provozu přístroje je optická dráha většinou souosá se vzduchovou trubicí a přívod spalin do přístroje je uzavřen ve vstupu. Pouze při vlastní měřicí proceduře se překloupí optická dráha do osy měřicí trubice, do které se současně vpouští vzorek spalin. Po uskutečnění odečtu hodnoty se opět držák se žárovkou a fotonkou překloupí do polohy, kde intenzivní omývání čistým vzduchem udržuje povrch rozhodujících prvků přístroje prostý úsad. Pronikání vzduchu do měřicí trubice, při vlastním měření, brání pouze dostatečný tlak spalin. Při příliš kvalitním provedení

výfukového traktu zkušebny se musí výfukový protitlak uměle zvyšovat umístěním škrtícího orgánu do výfukového potrubí za místo odběru pro opacimetr. Teplota spalin v měřicí trubici, která se během měření kontroluje zabudovaným distančním teploměrem, se předepisuje. Světlost přívodu je 24 mm, průtok se nepředepisuje. Zdrojem světla je halogenová žárovka stejného typu jaký se používá v pomocných světlometech pro automobily. Opacimetr Hartridge je proveden tak, že měřicí trubice je snadno vyjímatelná kvůli odstraňování případně usazených sazí na stěnách z dřívějších měření.



Obr. 10 Opacimetr Hartridge (Měření emisí spalovacích motorů (Takáts. M, Vydavatelství ČVUT, Praha 1997))

Stupnice ukazovacího přístroje je lineárně rozdělená na 100 dílků (HSU – Hartridge Smoke Unit). Z údaje stupnice se vypočítá absorpční koeficient k (v.m^{-1}) podle vztahu:

$$k = -\frac{1}{L} \ln \left(1 - \frac{N}{100} \right) \quad (3)$$

L ... délka optické dráhy – vzdálenost žárovky a fotonky (pro Hartridge 0,43m).
N ... údaj opacimetru v HSU.

3.3 PŘÍMÉ HMOTNOSTNÍ MĚŘENÍ KONCENTRACE ČÁSTIC

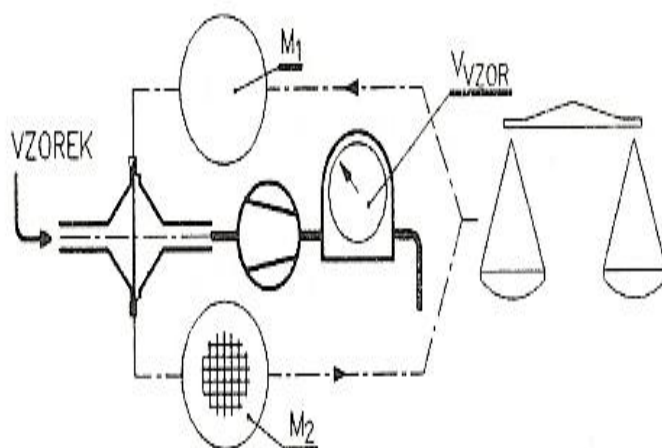
Vlastní princip gravimetrického stanovení obsahu pevných částic ve výfukových plynech je jednoduchý viz obr. 11. Filtrační element je ze skelných vláken potažených teflonem (Pallflex). Jeho hmotnost se zjistí na přesných laboratorních váhách, pak se instaluje do příslušného držáku a pumpou se přes něj prosává vzorek spalín. Po ukončení měření se filtr i se zachycenými částicemi opět zváží a hmotnostní koncentrace částic v analyzovaném vzorku se stanoví podle vztahu

$$C_{M,PE} = \frac{M_2 - M_1}{V_{VZOR}} \quad (4)$$

M_1, M_2 hmotnost nového, resp kontaminovaného filtru

V_{VZOR} objem celkového prosátého množství spalín, stanovený jako rozdíl konečné a počátečné hodnoty počítadla plynoměru.

Úplná metodika je ovšem mnohem složitější. Hygienická závadnost částic emitovaných vznětovým motorem je způsobena zejména různými uhlovodíky (např.: karcinogenními polycyklickými aromáty – PAH) sorbovanými na povrchu pevné fáze. Měření koncentrace částic má význam pouze pokud se podaří simulovat podmínky pro kondenzaci různých frakcí uhlovodíků a jejich ukládání na částicích sazí.



Obr. 11 Gravimetrické měření obsahu částic (Měření emisí spalovacích motorů (Takáts. M, Vydavatelství ČVUT, Praha 1997))

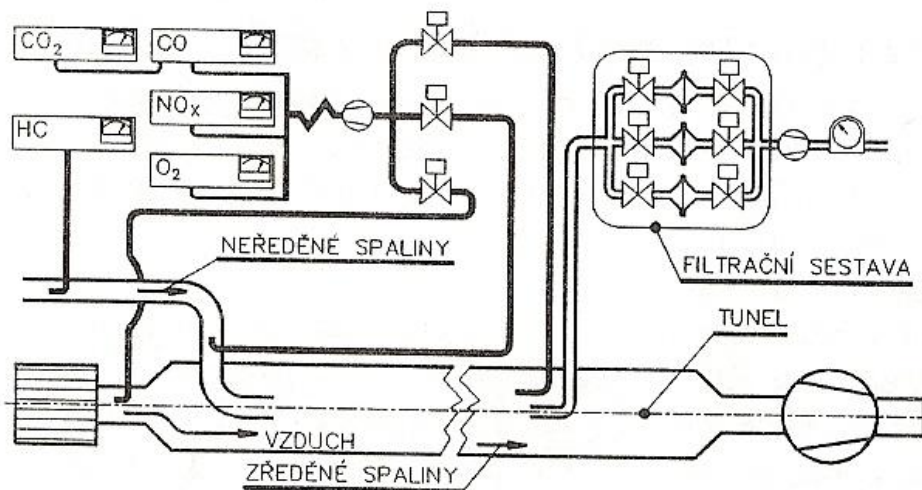
Z tohoto důvodu se výfukové plyny ředí vzduchem dodávaným zvláštním dmychadlem, aby se napodobily podmínky míšení výfukových plynů s okolním vzduchem za ústím výfukového potrubí.

Při „klasickém“ odběru vzorku z výfukového traktu zážehového motoru je při dodržování stejných podmínek pro spalování koncentrace škodlivin přibližně stálá a se změnou režimu běhu motoru se mění výrazně průtok spalin. Naopak, při velkém, a stálém průtoku ředícího vzduchu mnohonásobek průtoku spalin) se při změně režimu běhu mění výrazně koncentrace škodlivin a průtok zředěných spalin je takřka neproměnný. Z této skutečnosti je odvozen název metody CVS (= Constant Volume Sampling), který se postupně stal synonymem pojmu analýza zředěných spalin. Modifikace metody CVS pro měření produkce částic (plnoprávkový tunel, nebo zkráceně jenom tunel) se schematicky znázorňuje na obr.12. Průtok dostatečného množství ředícího vzduchu odsáváním zředěných spalin zajišťuje dmychadlo, které je umístěno na výstupní straně tunelu. Při použití objemového stroje je průtok zředěných spalin definován zdvihovým objemem a otáčkami dmychadla (Varianta PDP = Positive Displacement Pump).

Použitím Venturiho dýzy s kritickým průtokem, je další možností měření průtoku tunelem, přes kterou prosává ředící vzduch lopatkové dmychadlo kritickým tlakovým poměrem (varianta CFV = Critical Flow Venturi). V dostatečné vzdálenosti od vstupu neředěných spalin do tunelu je umístěna sonda, kterou se odebírá část zředěných spalin pro filtrační soupravu.

V místě odběru vzorku pro filtraci je nutné udržovat průtokové poměry takové, aby na vstupu do odběrné sondy nedocházelo k diskontinuitě rychlostí, která by působením hmotových sil v nestacionárním proudu způsobila odlučování částic. Takový způsob odběru se nazývá *isokinetický*.

Experimentálně se zjistilo, že za výfukem stojícího motorového vozidla je poměr zředění výfukových plynů vzduchem při vzdálenosti 30 cm od ústí výfuku cca 10 a ve vzdálenosti 1 m cca 100. Při jízdě vozidla je míšení spalin se vzduchem ještě intenzivnější. Z toho vyplývá, že metodikou CVS nelze dosáhnout úplné napodobení reality.



Obr. 12 Tunel na měření produkce částic (Měření emisí spalovacích motorů (Takáts. M, Vydavatelství ČVUT, Praha 1997))

Pro usprádnění tunelu na měření emise částic předepisuje Úřad pro ochranu prostředí USA (EPA – Environmental Protection Agency) tyto parametry:

Průměr tunelu > 203 mm

Reynoldsovo číslo pro průtok tunelem > 4000

Poměr zředění = 10

Teplota v místě odběru vzorku $\leq 52^{\circ}\text{C}$

Průměr odběrné sondy > 12,7 mm

Průtok vzorku $9,9 - 28,31 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

Průměr filtru $\geq 47 \text{ mm}$

Zachycená hmotnost částic na 1 měření 2 – 7 mg

Jmenovitá průměrná rychlost průtoku filtrem $0,097 - 0,267 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Jedním z účelů nasazení metody hmotnostního měření emise částic je zájem o vyhodnocení celkové, či měrné produkce. Pro tento účel lze jednoduše modifikovat rovnici:

$$M_j = \rho_j C_j Q_{EXH} \quad (5)$$

M_j ... celková produkce j-té složky

ρ_j ... hustota j-té složky

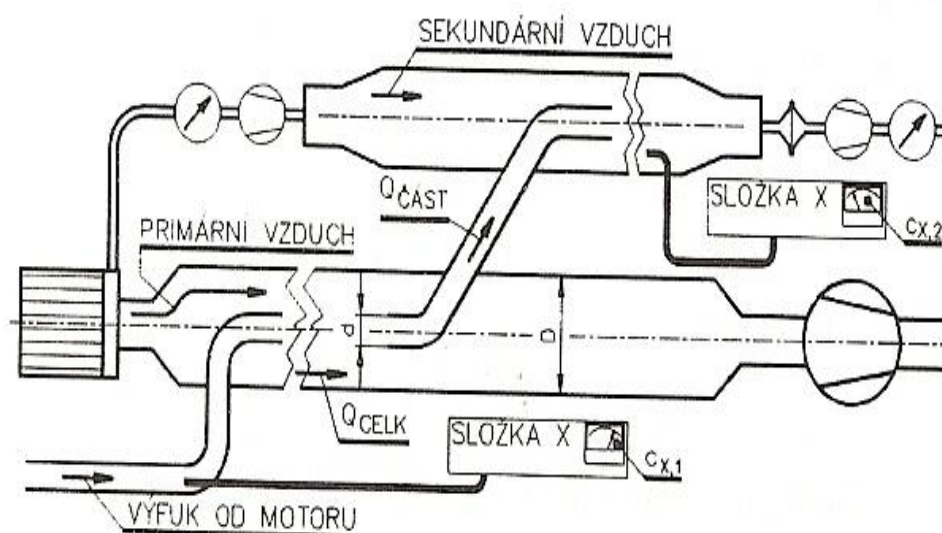
C_j ... koncentrace j-té složky (údaj příslušného analyzátoru)

Q_{exh} ... průtok spalin

vypuštěním hustoty sledované složky a dosazením hmotnostní koncentrace částic podle (4)

Jinou možností stanovení průtoku zředěných spalin je použití metody PDP, nebo CFV uvedených v komentáři k obr. 12. Kromě celkového průtoku zředěných spalin je také nutné zjistit ředící poměr.

Uspořádání s dvojitým ředěním spalin se zavedlo ve snaze snížit množství vzduchu potřebné k dostatečnému zředění spalin. V uspořádání na obr. 13. se celé množství motorem emitovaných výfukových plynů ředí primárním vzduchem, přičemž ředící poměr je menší než požadují příslušné specifikace. Isokinetickou sondou se odebírá pouze menší část, z takto zředěných spalin, která je v paralelním sekundárním tunelu dále zředěna sekundárním vzduchem.



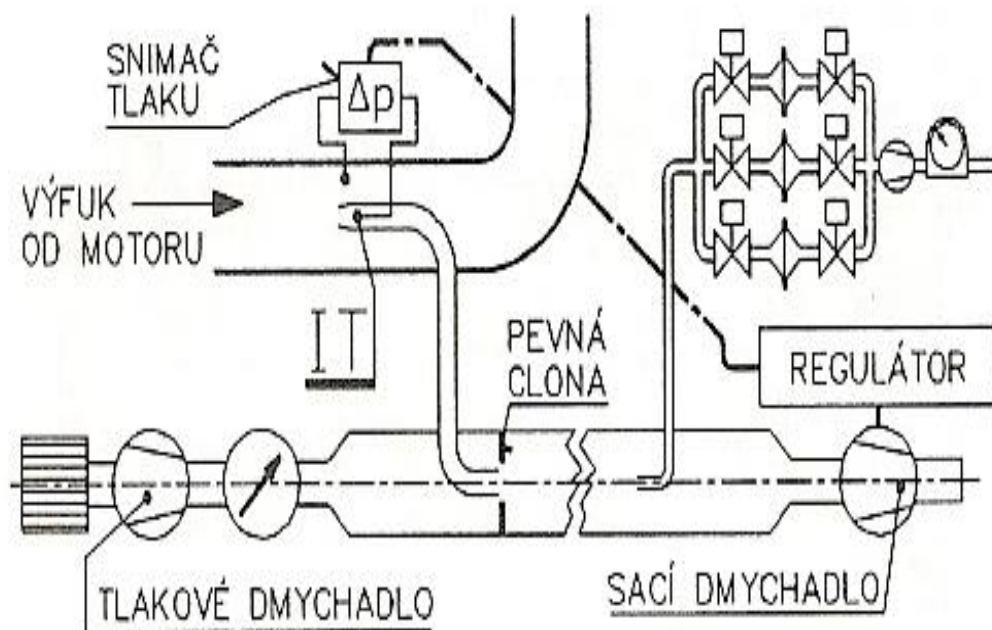
Obr. 13 Plnoprůtokový tunel s dvojitým ředěním (Měření emisí spalovacích motorů (Takáts. M, Vydavatelství ČVUT, Praha 1997))

Pro výpočet celkové, či měrné produkce částic lze bez problému stanovit celkový průtok spalin ze vztahu pro Q_{exh} , koncentrace uhlíkatých látek musí být změřena v paralelním tunelu před vstupem vzorku zředěných spalin do filtrační soupravy.

Při použití isokinetického odběru lze využít úměrnosti mezi poměrným průtokem odměrnou sondou a její poměrnou plochou. V současné terminologii se akcentuje právě tato úměrnost a pojem isokinetická sonda se rozumí odběrné zařízení, pro které platí (význam symbolů viz obr. 13).

Při dodržení požadavků na ředící poměr vyžaduje pořízení a provozování tunelu nasazení značných prostředků. Na obr. 14 je minitunel, který byl vyvinut ve snaze o snížení nákladů na měření emise částic. Klíčovou součástí tohoto zařízení je isokinetická sonda pro odběr 2 - 4 % výfukových plynů.

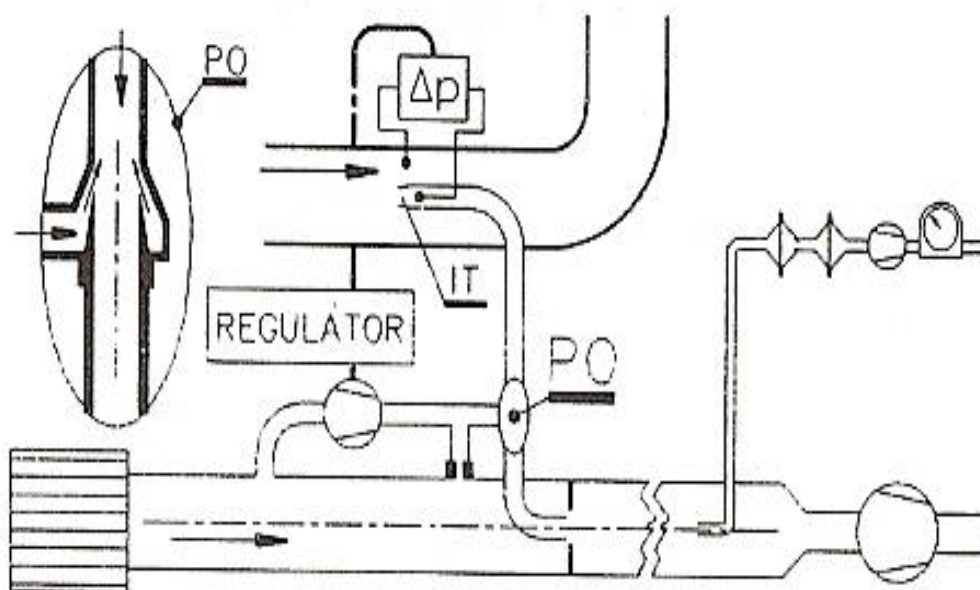
Na vstupu vzduchu do minitunelu pracuje tlačné dmychadlo jehož úkolem je dodat přiměřené množství ředícího vzduchu. Sací dmychadlo na výstupu minitunelu je regulováno tak, aby statický tlak spalin ve vstupu do isokinetické sondy byl shodný se statickým tlakem charakterizujícím rychlost spalin v plném průřezu.



Obr. 14 Uspořádání minitunelu se dvěma dmychadly (Měření emisí spalovacích motorů (Takáts. M, Vydavatelství ČVUT, Praha 1997))

Ve funkci obou dmychadel se používají lopátkové stroje. Na obr. 14 je naznačena též mísící (pevná) clona, která se montuje pro zvýšení intenzity transportních jevů v minitunelu, aby se podpořila homogenita rozložení částic napříč proudem zředěných spalin.

Jistou nevýhodou uspořádání podle obr. 14 je nutnost předimenzování tlačného dmychadla. To musí dodávat dostatek ředícího vzduchu i v situaci, kdy po zjištění nadměrného poklesu statického tlaku v sondě provádí sací dmychadlo regulační zákrok snížením odsávacího účinku. Z toho vyplývá požadavek na stlačení vzduchu v tlačném dmychadle a případně nutnost jeho chlazení před vstupem do minitunelu kvůli udržení požadovaných teplot.



Obr. 15 Minitunel s pneumatickou clonou (Měření emisí spalovacích motorů (Takáts. M, Vydavatelství ČVUT, Praha 1997))

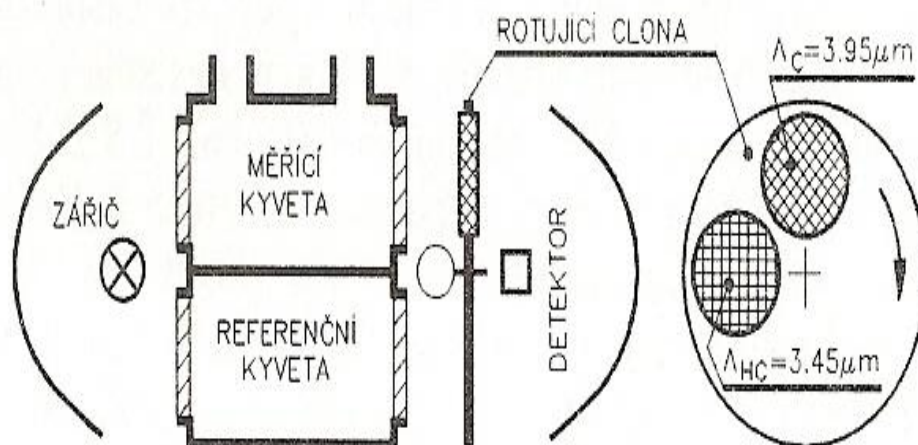
Minitunel podle obr. 15 používá pouze sací dmychadlo, které udržuje v minitunelu tlak mírně nižší než tlak spalin ve výfukovém traktu motoru. Shodná rychlost v sondě se nastavuje regulací průtoku odebírané části spalin. Jako akční člen této regulace se používá zařízení, (PO na obr. 15) pneumatická clona. Kromě úplného odstředění tlačného dmychadla se za výhodu uspořádání podle obr. 15 považují menší nároky na mohutnost výkonového stupně (elektronického) regulátoru, který řídí pumpu (malého výkonu) dodávající řídicí vzduch do pneumatické clony.

Tandemové uspořádání dvou filtrů je naznačeno na obr. 15 Taková kombinace se používá pro ověření filtrační účinnosti vlastního filtračního elementu (množství částic, zachycených na zadním filtru má být výrazně menší).

Dalším problémem gravimetrického hodnocení je samotné zjištění hmotnosti filtru. Zejména je nutno přijmout zvláštní opatření, které zabrání kondenzaci atmosférické vlhkosti na filtru při manipulaci. Pro verifikaci přesnosti vážení se obvykle používá referenční filtrační element, který absolvuje společně s aktivním elementem všechny manipulační postupy, nezachycují se však na něm částice ze spalin. Při závěrečném zjišťování hmotnosti aktivního filtru se kontroluje neproměnnost hmotnosti referenčního elementu.

3.4 KVALITATIVNÍ MĚŘENÍ ČÁSTIC

Zatím popsané metody měření koncentrace částic nepoužívají žádného převodu měřené veličiny, v tomto smyslu tedy vlastně nemají kalibrační křivku, resp. jejich kalibrační křivkou je přímka procházející počátkem s logickou směrnici 1



Obr. 16 Infračervený opacimetr podle AVL (Měření emisí spalovacích motorů
(Takáts. M, Vydavatelství ČVUT, Praha 1997))

Schéma analyzátoru částic firmy AVL se uvádí na obr. 16, který využívá pro svou funkci převodu na elektrickou veličinu. Měřícím principem je prosvěcování sloupce spalín infračerveným zářením. Absorpční spektrum pevného uhlíku je spojité, proto pásmo propustnosti příslušného optického filtru lze volit tak, aby na propouštěné vlnové délce Λ_c nedocházelo k interferenci s absorpčním spektrem jiných komponentů přítomných ve vzorku spalín. Druhý optický filtr má pásmo propustnosti zvoleno tak, aby propouštěná vlnová délka Λ_{hc} ležela v oblasti maxima absorpční aktivity těžkých uhlovodíků.

Zpracováním modulovaného signálu detektoru tedy lze získat údaj o sumární koncentraci částic a rovněž informaci o podílu sazí a těžkých uhlovodíků na celkovém množství emitovaných částic. Jednoznačnost kalibrační křivky je důvodem k zařazení infračerveného opacimetru mezi přímé metody hodnocení emise pevných částic.

4 PRACOVISTĚ PRO GRAVIMETRICKÉ MĚŘENÍ ČÁSTIC

Cílem této práce je návrh nové vážící komory, pro účely použití v laboratořích Katedry vozidel a motorů Technické Univerzity Liberec. Vážící komory slouží k vážení a stabilizování filtračních papírků. Vážící komora musí splňovat určité normou stanovené podmínky (viz. příloha 2, výťah z normy). Konkrétně se jedná o teplotu $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkost $45 \% \pm 8 \%$, která musí být v komoře zabezpečena.

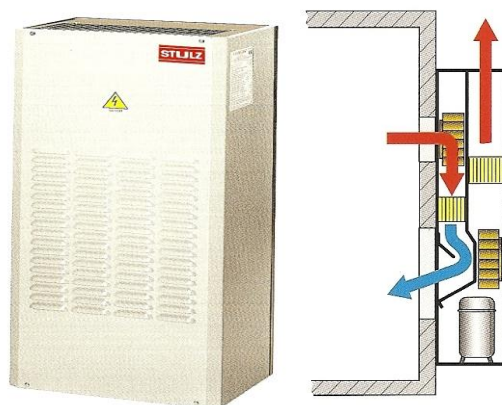
V úvodních etapách této práce jsem navrhl přibližné možné řešení konstrukce vážící komory a to dvěma způsoby. Jedna varianta byla založena na základě většího klimatizovaného pracovního boxu, který v současné době používá laboratoř KVM Technické Univerzity Liberec. Druhá byla spíše nastíněním možného řešení a to použití profesionálně vyráběných vážících komor a také jako námět pro můj návrh vážící komory. Jako konečný návrh jsem zkonstruoval vážící komoru, která je spíše podobná zmíněné druhé variantě.

4.1 PRVOTNÍ STAV ŘEŠENÍ

4.1.1 KLIMATIZOVANÝ BOX

Klimatizovaný box, jak již bylo zmíněno, byl navržen na základě stávajícího boxu používaného laboratoří KVM, tzn., že jde spíše o jakousi modernizaci a nejde zde o zkonstruování nového výrobku. Z tohoto důvodu jsem tuto variantu nepoužil jako konečný návrh. Co se týká mého návrhu, tak se jednalo o box o rozměrech 1.5m x 1.5m a výšce 2.7m. Základem boxu je ocelový nosný rám z čtvercových tyčí pro uchycení panelů PUR. Panely PUR jsou izolační panely z oboustranně lakovaných pozinkovaných plechů bílé barvy vyplněné polyuretanovou pěnou, používané například v mrazírenském průmyslu. PUR panely jsem navrhl z důvodu jejich snadné montáže, která se provádí formou pero / drážka a formou integrovaného těsnění dochází k vzájemnému spojení bez tepelných mostů. Navrhované panely jsou tloušťky 40mm a v katalozích se označují jako PUR 40. Tepelná vodivost je $0.542 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Panely jsou řezány na rozměry podle přání zákazníka. Cena konkrétního

panelu PUR 40 je cca 400Kč/m². K PUR panelům jsou dodávány veškeré potřebné díly pro stavbu boxu jako jsou např.: různé profily L, U, rohové profily, lišty, rohy, záslepky, podlahové plechy atd. Také je možné dokoupit izolační otočné dveře, pro vytvoření potřebné těsnosti boxu.



Obr. 17 Klimatizační jednotka STULZ (Katalog výrobků (LAKA CZ))

Základní parametry KJ-STULZ

Schopnost chlazení (50/60 Hz)..0,75/0,75 kW

Průtok vzduchu....220m³/h

Příkon (50/60 Hz)....0,4/0,41 kW

Hladina hluku....52/62 dBA

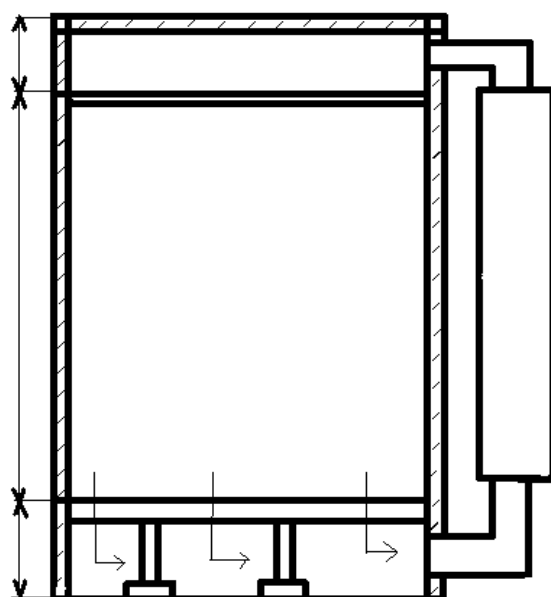
Výška....634 mm

Šířka....308 mm

Hloubka....227 mm

Váha....25 kg

Co se týče dalšího konstrukčního provedení, box je vybaven dvojitou podlahou pro dosažení lepších podmínek uvnitř boxu a to lepší ventilaci pro udržení požadované čistoty a udržování teploty. Samozřejmě ve stropu je umístěn vzduchový filtr pro zachycení prachu a dalších nečistot.



Obr. 18 Klimatizovaný box (vlastní návrh)



Obr. 19 Klimatizovaný box (Katalog výrobků (LAKA CZ))

Jako výhody tohoto návrhu bych uvedl dostupnost veškerých potřebných komponentů k výrobě, následnou poměrně jednoduchou montáž boxu a přijatelné cenové podmínky. Dále poměrně jednoduché dosažení klimatických podmínek v boxu včetně dosažení potřebné čistoty.

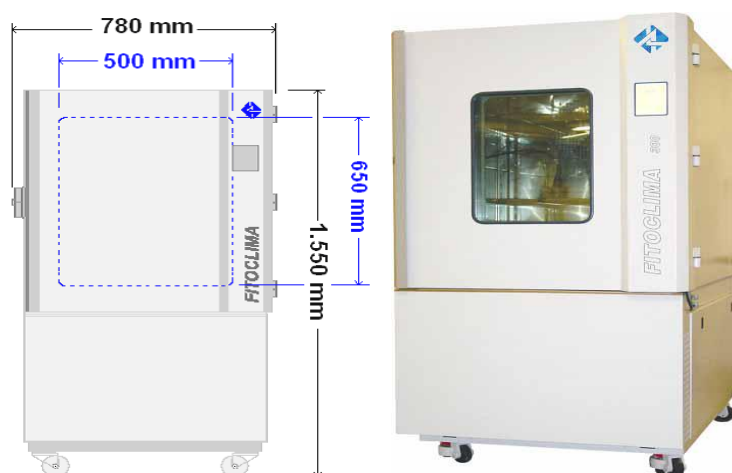
4.1.2 ZKUŠEBNÍ KOMORA

Alternativním řešením boxu je malá mobilní komora. Tyto komory slouží spíše jako námět k mému návrhu.

Tato mnou zpracovaná varianta vznikla na základě prostudování a ověřování různých variant u několika firem, které se zabývají laboratorní technikou. U těchto specializovaných výrobců a prodejců jsem hledal zařízení, které by se dalo použít pro účely gravimetrického pracoviště v laboratořích KVM. Pro tyto účely by byly nejvhodnější speciální zkušební komory (též nazývané vážící komory, nebo inkubátory), které jsou k dostání v mnoha provedeních pro různé použití. Tyto zkušební komory nacházejí uplatnění v celé řadě oborů. Uplatňují se jak v oblasti výzkumu, zkušebnictví, ale také ve výrobních procesech. Používají se např.: pro přesné vážení léků, pro simulace prostředí, pro průmyslové procesy (zvlhčování, stárnutí materiálu, atd.). Cenová relace těchto produktů se pohybuje v řádech sto tisíců Kč.

Použití těchto vážících komor v laboratořích KVM pro účely vážení a stabilizování filtračních papírků, by byla vhodné zejména pro přesné dodržení klimatických podmínek, tj. teplota a vlhkost, a zaručení čistoty prostředí vnitřním přetlakem. Zároveň by se komora dala použít i k jiným účelům ve výzkumu jak již bylo zmíněno např.: simulace prostředí, průmyslové procesy apod.

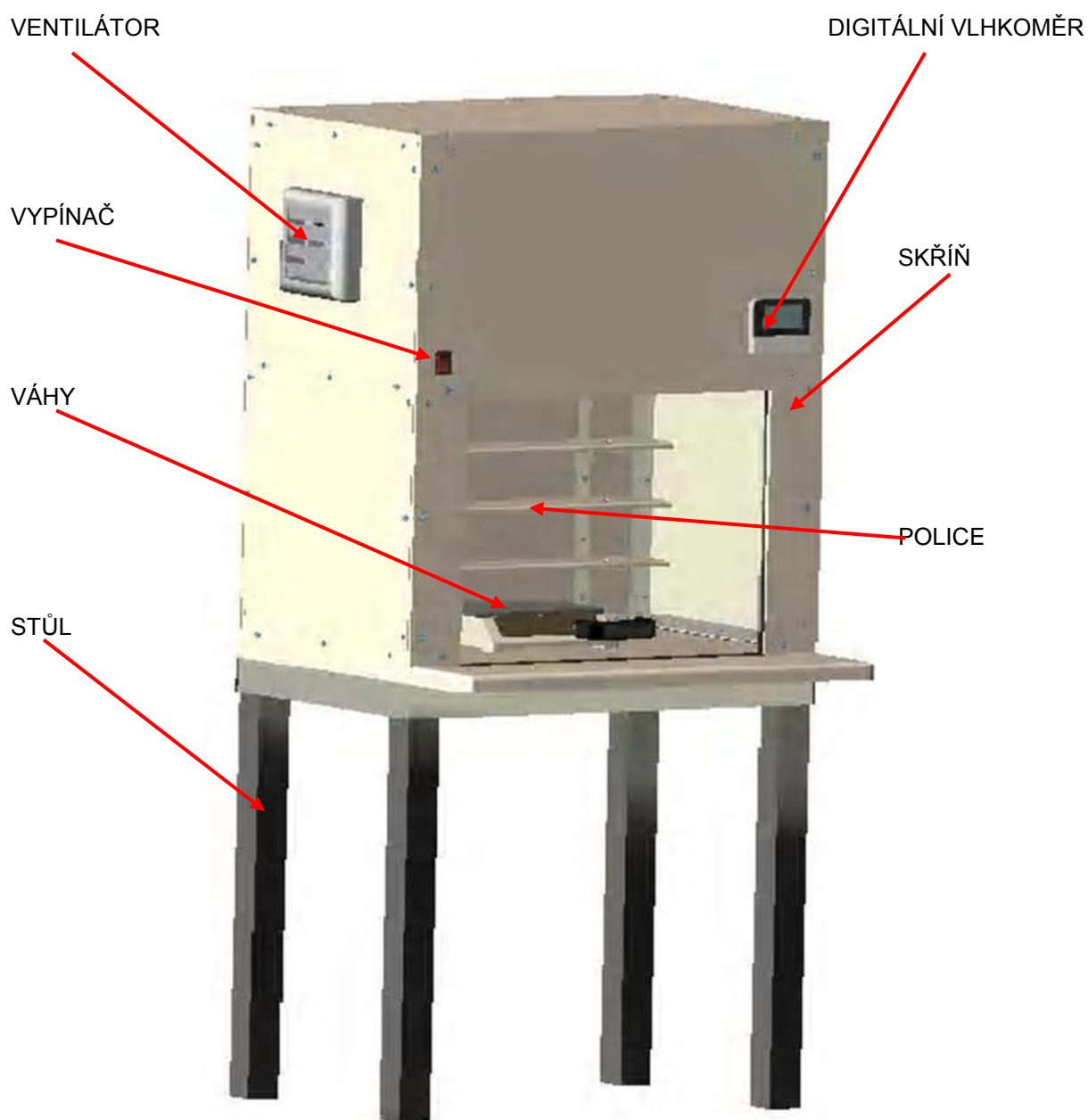
Tato varianta by byla z hlediska odbornosti a využití produktu nejlepším řešením. Problémem pro pořízení nebo sestavení vlastní komory by možná mohla být pořizovací cena.



Obr. 20 Speciální zkušební komory (Katalog výrobků(ARALAB ES))

4.2 VLASTNÍ NÁVRH KOMORY

Návrh vážící komory je na obr. 21. Návrh je inspirován již zmíněnou zkušební komorou v odstavci 4.1.2 a také po zhlédnutí obrázku vážící komory co používají ve firmě Daimler Chrysler (viz. obr. 22). Po dohodě s mým konzultantem panem Ing. Josefem Blázkem jsem tento návrh více rozpracoval. (Příslušné výrobní výkresy jsou uloženy na konci této práce).



Obr. 21 Vážící komora (vlastní návrh)



Obr. 22 Vážicí komora (Daimler Chrysler (Pracovní materiály poskytnuté katedrou strojů průmyslové dopravy TU Liberec))

Komora je sestavena z dílů běžně dostupných. Některé polotovary potřebné k výrobě dílů jako jsou hliníkové profily a PVC desky se prodávají ve velkém množství, proto je nutná domluva s prodejci na odběr pouze částečného množství. Seznam mnou doporučených dodavatelů a firem je uveden v příloze 1 “Seznam dodavatelů”. Samozřejmě je možné použít i jiné polotovary, než je uvedeno na výrobních výkresech, měla by však být dodržována koncepce mého návrhu.

Výroba součástí z polotovarů je navržena pro co nejjednodušší výrobu, která by se mohla uskutečnit v prostorách Technické Univerzity Liberec. Montáž je velmi jednoduchá viz. odstavec montáž.

Jelikož požadavkem na vážicí komory je klimatizované prostředí tzn. stálá teplota a vlhkost, je nutné umístit komoru do již klimatizované místnosti, kde by byly nastavené hodnoty teploty a vlhkosti.

Z důvodu zamezení infiltrace mikro až nanočástic prachu z místnosti je důležité vytvořit v komoře mírný přetlak, není zde účelem ventilovat vzduch, neboť komora je otevřená v klimatizované místnosti. Pro vytvoření mírného přetlaku v komoře je navržen axiální ventilátor. Tento ventilátor jsem navrhl na základě minimálního průtoku vzduchu místností. Minimální průtok se dá určit několika způsoby, já jsem použil vztah pro intenzitu výměny vzduchu I_p . Hodnota I_p pro laboratoře je $6 - 12 \text{ h}^{-1}$, z toho vyplývá, že minimální průtok pro mnou navrženou komoru je $73 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

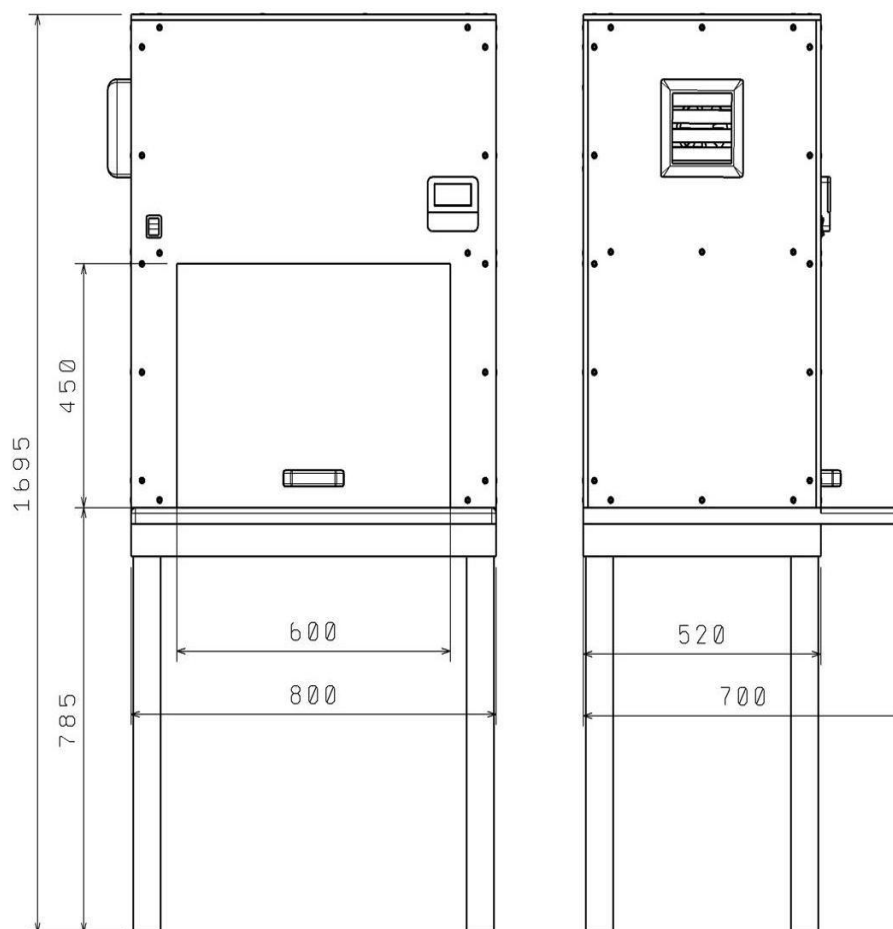
$$I_p = \frac{V_p}{O} \quad (1)$$

I_p ... intenzita výměny vzduchu

V_p ... průtok vzduchu

O ... objem místnosti (komory)

4.2.1 KONSTRUKCE VÁŽÍCÍ KOMORY



Obr. 23 Vážící komora (vlastní návrh)

Celkové rozměry komory jsou patrné z obr. 23. Výška 1695mm , hloubka 700mm , šířka 800mm. Rozměry předního okna 600mm x 450mm.

Komora se skládá ze tří částí, z hliníkového rámu komory (číslo výkresu KSD-BP-224-00-01-01), hliníkového rámu stolu (č.v. KSD-BP-224-00-02) a samotné skříně (č.v. KSD-BP-224-00-01).

Rám je tvořen hliníkovými (EN AW 6060) L profily, které jsou k sobě spojeny hliníkovými rohy (č.v. KSD-BP-224-00-01-01) a zápusťnými šrouby M5x10 ISO 7046-1 .

Skříň (č.v. KSD-BP-224-00-01), (č.kusovníku KSD-BP-224-00-01-K) je sestavena, jak již bylo zmíněno z rámu, ke kterému jsou přišroubovány bílé PVC desky tloušťky 10 mm. Přední stěna je z průhledného plexiskla, které je posuvné a uloženo v těsnící plsti, pro otevírání je použita rukojeť (Standardní rukojeť typ1, obj.č. 462232.

Samotný rám stolu je svařen z hliníkových L profilů 60x5 a hliníkových čtvercových tyčí 4HR 60x4. Rám stolu je se skříní spojen šrouby ISO 4762 M10x30 a maticemi ISO 4035 M10. Šrouby jsou nasazeny zevnitř skříně a jsou zakryty krytkami šroubů.

Ventilaci vzduchu a mírný přetlak v komoře, jak již bylo uvedeno, zajišťuje axiální ventilátor s žaluziovou klapkou (ECOLINE 120 GGBB). Pro samočinné spouštění ventilátoru je použit mikrospínač s páčkou (L 405). Ventilátor lze též ovládat manuálně vypínačem (Vypínač kabelový L 438) umístěným na přední stěně skříně. Skříň je samozřejmě vybavena filtrem vzduchu pro zajištění přívodu čistého vzduchu do prostoru komory. Filtr je nutno nechat vyrobit na míru (rozměry 160x160x25) z důvodu toho, že se mi nepodařilo najít filtr malých rozměrů, který by se dal koupit.

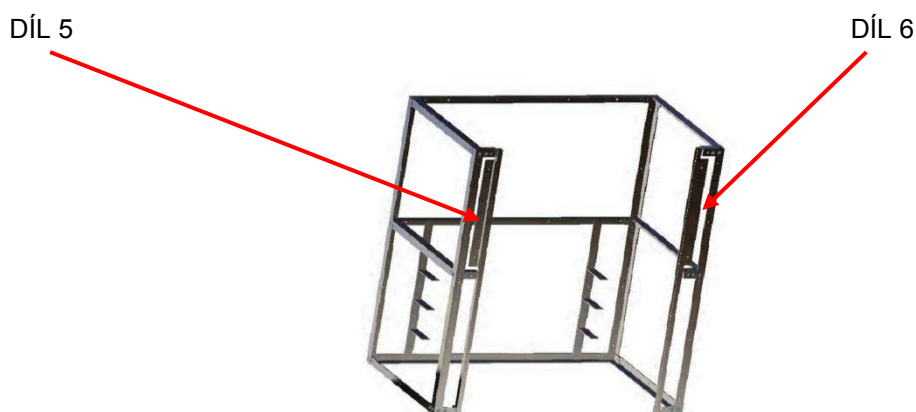
Pro měření teploty a vlhkosti je použit vlhkoměr (Digitální teploměr/vlhkoměr s externími čidly I882811), který umožňuje měření obou veličin uvnitř i vně komory.

Skříň je také vybavena skříňkou pro uložení potřebných el. komponentů pro elektroinstalaci. Tyto komponenty a elektrické zapojení není v této práci uvedeno, jelikož nemám potřebné oprávnění k montáži elektrických rozvodů.

Návrh a provedení el. Instalace musí provést osoba s patřičným oprávněním.

4.2.2 POSTUP MONTÁŽE

Montáž rámu dle výkresu sestavy (č.v. KSD-BP-224-00-01-01), pouze montáž dílů 5 - L PŘEDNÍ KRÁTKÝ (č.v. KSD-BP-224-00-01-01-05) a 6 - L PŘEDNÍ KRÁTKÝ 2 (č.v. KSD-BP-224-00-01-01-06), je nutno namontovat až po přidělení dílu 14 - DESKA MEZI (č.v. KSD-BP-224-00-01-14).

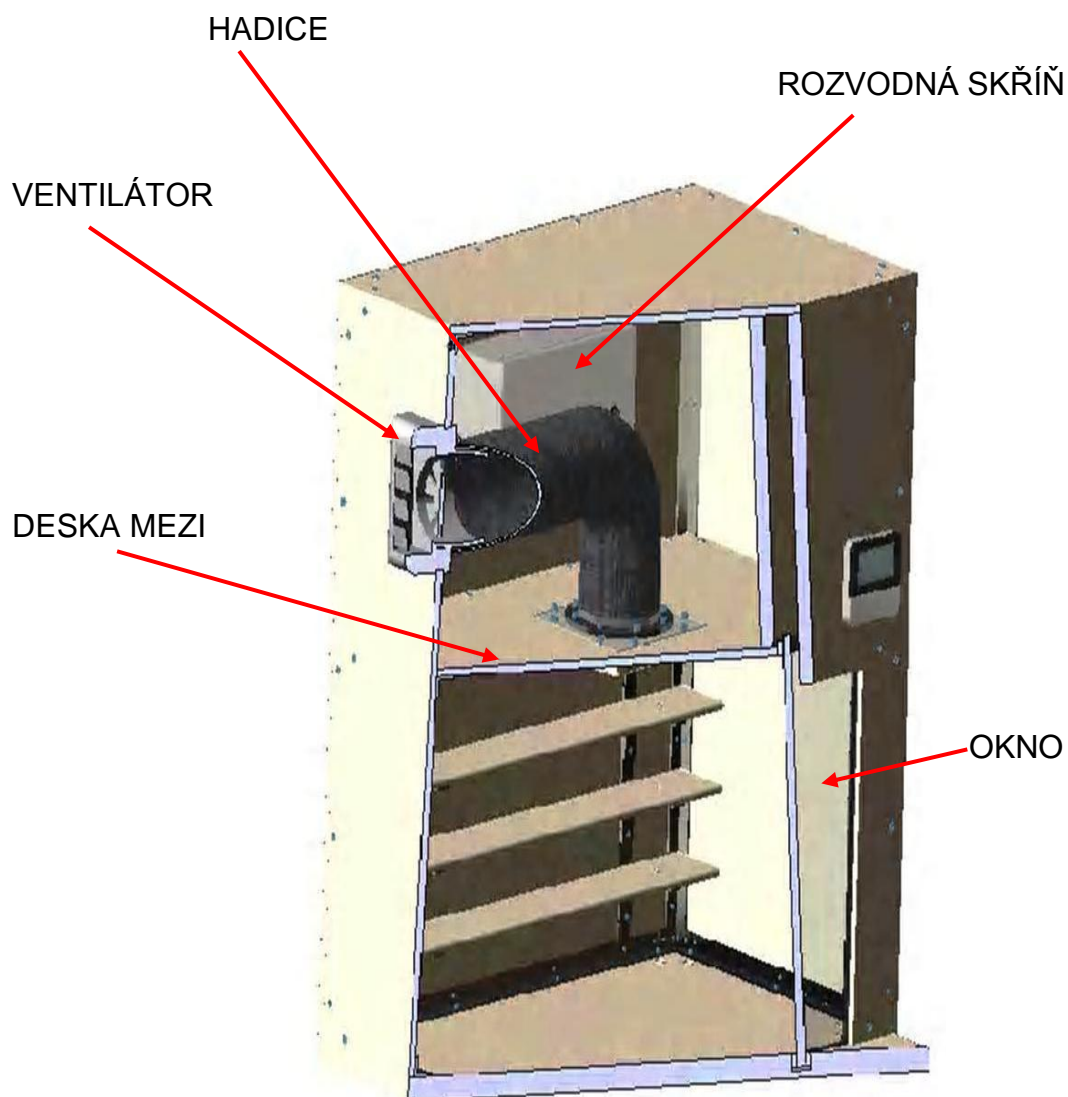


Obr. 24 Rám skříně (šipkou označeny díly 5 a 6) (vlastní návrh)

Montáž skříně dle výkresu sestavy (č.v. KSD-BP-224-00-01). Po montáži rámu je nutno přišroubovat díl 2 - DESKA SPODNÍ (č.v. KSD-BP-224-00-01-02) šrouby s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 4762 – M6 x 12 (12x).

Dalším krokem je přidělení rámu se spodní deskou k rámu stolu šrouby s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 4762 – M10x 30(8x) a maticemi ISO 4032 M10.

Dalším krokem je vložení dílu 6 - DESKA MEZI (č.v. KSD-BP-224-00-01-06) , která se přichytí šrouby s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 4762 M6 x 16 (12x), která již bude osazena dílem 12 - PLECH KRYT (č.v. KSD-BP-224-00-01-12), ke kterému bude přišroubována příruba(Příruba kruhová PR 125) a zároveň bude přichycen rámeček (Rámeček pro mřížky čtyřhranný C-PM-R-166x166). Po tomto kroku se můžou namontovat díly 5 a 6 (č.v. KSD-BP-224-00-01-01-05 resp.06) . Před vložení dílu 5 je nutné přišroubovat mikropsínač(L 405) šrouby ISO 4762 M2,5x12. Mikropsínač je nutné podložit, aby zapadl do otvoru v dílu 7 - U VODÍCÍ (č.v. KSD-BP-224-00-01-01-07).



Obr. 25 Řez skříní (vlastní návrh)

Nyní je nutné vložit díl 10-OKNO PŘEDNÍ (č.v. KSD-BP-224-00-01-10) osazené rukojetí, ale předtím se musí ještě vlepit těsnící plst do vodících profilů rámu.

Po těchto krocích se přichytí všechny boční stěny šrouby s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem ISO 4762 – M6 x 12. Před samotným namontováním těchto dílů je vhodné desky opatřit potřebnými díly (mřížky, ventilátor, vypínače, el. skříň) dle výkresu sestavy. Po těchto montážích se připevní veškeré zbylé díly. Jako poslední se připevní 5 - DESKA HORNÍ (č.v. KSD-BP-224-00-01-05). (Upozornění-veškeré vnitřní hrany skříně je nutné utěsnit silikonovým tmelem).

5 CENOVÁ KALKULACE

Cenová kalkulace je pouze orientační z důvodu proměnlivosti cen materiálu a některých kupovaných součástí. Některé polotovary jsou prodávány pouze v určitém množství, nebo rozměrech. Z tohoto důvodu se výroba některých součástí může mírně prodražit. Konkrétně se jedná o PVC desku K 30 x 1000 x 2000 a desku KT 6 x 1000 x 2000, které by stačily v menších rozměrech. Na výrobu dílů venkovních desek postačí pouze jedna deska K 10 x 1500 x 3000 ve které se musejí díly správně rozložit. Pro vnitřní plech se použije také pouze jeden plech bílý. Všechny ceny jsou uvedeny bez DPH

5.1 KALKULACE SAMOTNÉ SKŘÍNĚ

VELKAPLAN K- deska 10 x 1500 x 3000 , mn. 4.5m^2 , 1491Kč/m^2	6709,50 Kč
VELKAPLAN K- deska 30 x 1000 x 2000 , mn. 0.56m^2 , 4568Kč/m^2	2558,00 Kč
VELKAPLAN KT-čirá deska, $6 \times 1000 \times 2000$, mn. $0,33\text{m}^2$, 1251Kč/m^2	413,00 Kč
Cena hliníku cca 140 Kč/kg	
L profil 25x4 Jakost ENAW6060, mn. 9,2m (4,57 kg)	640,00 Kč
U profil 18x18x2 Jakost ENAW6060, mn. 1,8m (0,98 kg)	136,10 Kč
Tyč plochá 20x5 Jakost ENAW6060, mn. 1m (0,27 kg)	37,00 Kč
Tyč plochá 25x3 Jakost ENAW6060 , mn. 2,1m (0,424 kg)	60,00 Kč
L profil 30 x 18 x 4 Jakost ENAW6060, mn. 0,72 m (0,32kg)	45,00 Kč
L profil 60 x 5 Jakost ENAW6060 , mn. 2,7 m (4,1kg)	573,00 Kč
Profil čtvercový (jekl) 60 x 4 Jakost ENAW6060 , mn. 3m (8,91kg)	1247,50 Kč
Lepící plst pl.01.004, mn. 0.13m^2 , 1422Kč/m^2	185,00 Kč
Standardní rukojeti typ 1 obj.číslo. 462232 , mn. 2 x, 176.7 Kč	253,40 Kč
krytky šroubů číslo výrobku 2674 bílá , mn. 8 x, 1.50Kč/ks	12,00 Kč
ISO 7046 M5 x 10 , mn. 76 x , 0.8Kč/ks	58,40 Kč
ISO 7046 M5 x 12 , mn. 2 x , 1Kč/ks	2,00 Kč
ISO 4762 M4 x 12 , mn. 6x , 0.55Kč/ks	3,30 Kč
ISO 4762 M6 x 12 , mn. 108 x , 1.52Kč/ks	164,00 Kč
ISO 4762 M6 x 16 , mn. 29 x , 1.92Kč/ks	56,00 Kč
ISO 4762 M10 x 30 , mn. 8 x , 7.3Kč/ks	58,40 Kč
ISO 4762 M5 x 16 , mn. 2 x , $0,40\text{Kč/ks}$	0,80 Kč
ISO 4032 M10 , mn. 8 x , $2,7\text{Kč/ks}$	5,50 Kč
ISO 4032 M6, mn. 16 x , $0,60\text{Kč/ks}$	7,50 Kč
ISO 7089 5 , mn. 2 x , $0,10\text{Kč/ks}$	0,20 Kč
ISO 7089 6 , mn. 16 x , $0,20\text{Kč/ks}$	3,50 Kč
ISO 7089 10 , mn. 8x , $0,70\text{Kč/ks}$	5,60 Kč
Celková orientační cena skříně	13 234,70 Kč

5.2 KALKULACE VENTILACE

Ventilátor Ecoline 120 GGBB s žaluziovou přetlakovou klapkou	959,00 Kč
C-UM-Z-S-166x166 - čtyřhranná mřížka se sítkou	68,00 Kč
Hadice pružná SEMIVAC SV 125/1	79,00 Kč
Příruba kruhová PR 125	66,00 Kč
Kruhová spona QIP 135 ,mn.2x , 26Kč/ks	52,00 Kč
C-PM-R-166x166 - rámeček pro mřížky čtyřhranný	42,00 Kč
Z filtr kazetový 160 x 160 x 25 cca	400,00 Kč
<hr/>	
Celková orientační cena	1666,00Kč

5.3 KALKULACE OSTATNÍHO ZAŘÍZENÍ

L 405 Mikrospínač s páčkou 1pol,250V/15A	9,50 Kč
L 438 Vypínač kabelový 250V/15A,červený,mn.1x	8,50 Kč
Rozvodná skříň 300x200x120,RZ-IN-5	416,00 Kč
I882811-Digitální teploměr/vlhkoměr s externími čidly	739,50 Kč
Silikonový tmel (podle značky výrobce) cca	100,00 Kč
<hr/>	
Celková orientační cena	1273,50 Kč

Celková cena komory se bude pohybovat okolo **16 500,00 Kč**. V ceně není zahrnuta elektroinstalace.

6 ZÁVĚR

Tato práce je spíše konstrukčním návrhem pracoviště pro gravimetrické měření pevných částic. Pro objasnění gravimetrického měření pevných částic bylo vhodné v úvodní části nastínit samotnou problematiku vzniku pevných částic. To znamená původ a tvorbu pevných částic jejich vliv na životní prostředí a zdraví člověka. Jsou zde také uvedeny některé postupy laboratorních měření, které jsou důležité pro celkové snižování pevných částic obsažených ve spalinách spalovacích motorů. Je zde nastíněna také dodatečná úprava spalin.

Jednou z metod měření a zjištění obsahu pevných částic ve spalinách je gravimetrické měření. Pro tuto metodu je jedním z klíčových zařízení právě vážící komora, která slouží ke stabilizaci a vážení filtračních papírků a musí splňovat určité podmínky, které jsou dány normou.

Cílem této práce je tedy návrh vážící komory pro účely laboratoří katedry vozidel a motorů Technické Univerzity Liberec. Komora by měla být součástí pracoviště pro gravimetrické měření částic, ve které bude prováděno vážení a stabilizování filtračních papírků. Návrh je přizpůsoben požadavkům normy a týká se udržování vnitřní teploty, vlhkosti a vnitřního přetlaku.

V prvotním návrhu bylo uvažováno navrhnutí celé klimatizované buňky včetně klimatizačního zařízení.

V průběhu tvorby této práce došlo ke změně požadavku, z důvodu výstavby celé klimatizované místnosti, ve které bude zajištěna stála teplota a stálá vlhkost. Z těchto důvodů jsem navrhl vážící komoru, ve které bude zajištěn pouze mírný přetlak pomocí ventilátoru. Komora je vybavena čelním průhledným otevíracím oknem, které má v průběhu měření zabránit vnikání nečistot do komory. Otevírání předního okna je nutné provádět, v počátečních fázích pomalu, aby nedošlo k nežádoucímu podtlaku a tím spojené nasátí nečistot do komory. V tomto návrhu není navržena elektroinstalace.

V důsledku tření proudícího vzduchu komorou, která je vyrobena převážně z PVC desek může vznikat elektrostatický náboj. Z tohoto důvodu doporučuji celou komoru uzemnit.

Věřím, že tento návrh bude vhodný pro účely laboratoří katedry vozidel a motorů Technické Univerzity Liberec, a že splňuje všechna zadaná kritéria.

Seznam použité literatury

1. Takáts. M.: Měření emisí spalovacích motorů, Vydavatelství ČVUT, Praha 1997
2. Macek J, Suk B.: Spalovací motory I, Vydavatelství ČVUT, Praha 2003
3. Drastík . a kol.: Strojnické tabulky pro konstrukci i dílnu, druhé doplněné vydání, Vydalo Montanex , Ostrava - Mariánské Hory 1999
4. Vávra P. a kol.: Strojnické tabulky, SNTL – nakladatelství technické literatury, Praha 1984
5. Vávra P., Kříž R.: Strojírenská příručka 4. svazek, Vydalo nakladatelství SCIENTIA , Praha 1994
6. Kohoutek J., Holoubek I.: Vývoj složení emisí automobilové dopravy v závislosti na technickém pokroku v konstrukci vozidel , TOCOEN REPORT No.116 , Brno 1996
7. Předpis č. 49 Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN) – Emise vznětových motorů a zážehových motorů (poháněných zemním plynem a zkapalněným ropným plynem)
8. Flenková V.: Vzduchotechnika, Praha 2008
9. Chyský, J., Hemzal, K. a kol.: Větrání a klimatizace. Technický průvodce. Bolit Brno, 1993
10. Adamec V., Machálek P., Dufek J. a další: Kompendium ochrany kvality ovzduší , část 5 Znečištění ovzduší z dopravy , příloha časopisu ochrana ovzduší , Praha 2005
11. Měření a výpočty emisních faktorů nelimitovaných polutantů při spalování směsných biopaliv v závislosti na jejich složení a provozních režimech, Výroční zpráva za rok 2005, zadavatel Ministerstvo dopravy ČR
12. www.gpro.cz , Vzduchotechnika a klimatizace
13. www.webzdarma.cz , Analyzátory výfukových plynů a kouřoměry
14. www.biom.cz , Efektivita filtrů emisních částic
15. www.energie21.cz , Efektivita filtrů moderních motorů
16. www.fcd.eu , Mezinárodní portál věnovaný tématu diagnostika vozidel